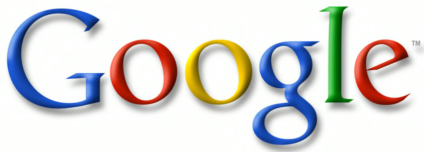


Konstruktion und Berechnung

für zwanzig verschiedene Typen

von

Dynamo-Gleichstrom-Maschinen.

Für Maschinen-Ingenieure und Elektrotechniker

von

Ober-Ingenieur **Josef Krämer**

Dozent für Elektrotechnik.

Mit 25 Tafeln

wovon

9 in Farbendruck

als Zeichnungs-Vorlagen bei Konstruktions-Arbeiten,

mit erläuterndem Text und 49 Textfiguren.

Zweite gänzlich neu bearbeitete Auflage.



Leipzig

Verlag von Oskar Leiner

1900.

Konstruktion und Berechnung

für zwanzig verschiedene Typen

von

Dynamo-Gleichstrom-Maschinen.

Für Maschinen-Ingenieure und Elektrotechniker

von

Ober-Ingenieur **Josef Krämer**

Dozent für Elektrotechnik.

Mit 25 Tafeln, wovon 9 in Farbendruck,

als Zeichnungs-Vorlagen bei Konstruktions-Arbeiten,

mit erläuterndem Text und 49 Textfiguren.

Zweite gänzlich neu bearbeitete Auflage.



Leipzig

Verlag von Oskar Leiner

1900.

Vorwort zur zweiten Auflage.

Seit der Herausgabe der ersten Auflage dieses Werkes haben sich die Verhältnisse im Dynamobau ganz wesentlich und zwar höchst erfreulich geändert. Während man damals gerade anfing, über die Grössenverhältnisse des Magnetismus und dessen Erregung ein klares, ziffermässiges Bild zu schaffen und sich bemühte, eine passende Formel zur rechnungsmässigen Ermittelung der Tourenzahlen (!) zu finden, sind wir heute über alle diese Fragen der Sturm- und Drang-Periode hinaus und es herrscht über die Vorausberechnung von Gleichstrommaschinen eine wohlthuende Klarheit. Der Elektrokonstrukteur findet jetzt bei seiner Arbeit gar keine Schwierigkeiten mehr; und wenn selbst die absonderlichsten Anforderungen an die Leistungsfähigkeit der Gleichstrommaschinen gestellt werden sollten, er ist imstande, allen Wünschen so weit zu entsprechen, als letztere mit dem Gesetz von der Erhaltung der Kraft und den modernen Anschauungen über Energie-Umformung im Einklang bleiben.

Was in der Einleitung zur ersten Auflage als Wunsch hingestellt worden ist, haben wir noch vor dem Eintritt des neuen Jahrhunderts erreicht:

> **Wir wissen jetzt ganz genau: Wie viel Material (Eisen und Kupfer) und in welcher Form wir dieses Material verwenden müssen, um bei einem gegebenen Kraftaufwand eine bestimmte Menge elektrischer Energie von bestimmter Form zu erzielen.**

Das ist eine höchst erfreuliche Errungenschaft und eröffnet günstige Aussichten auf dem verwandten Gebiete der Wechselstromtechnik.

Da nun bei der Verfassung der vorliegenden zweiten Auflage überall geklärte Verhältnisse über das zu bearbeitende Thema herrschten, musste selbstverständlich auch dieses Werk wesentlich geändert werden, und thatsächlich konnten wir aus der ersten Auflage nur die Tafeln 4 und 5, sowie die Tafel 7 (neue Nummern: 11, 12 und 5) mit herübernehmen; die beiden ersteren aus historischem Interesse, die letztere deshalb, weil von der abgebildeten Type so viele Exemplare in praktischer Verwendung stehen, dass deren theoretische Besprechung vielen willkommen sein dürfte.

Der Autor hat bei den Lesern dieses Buches ein bestimmtes nicht unbedeutendes Maass elektrotechnischen Wissens vorausgesetzt und gemeint, dass es nach dem Charakter dieses Werkes gestattet sein dürfte, anzunehmen: die Kenntnis der Wirkungsweise elektrischer Maschinen und der Grundregeln des Dynamobaues müsse jenen zu eigen sein, die sich mit den besonderen Konstruktionen elektrischer Maschinen eingehender beschäftigen wollen.

Einige der Figuren, welche den Tafelerläuterungen voraus gestellt worden sind, beziehen sich nicht direkt auf den nachfolgenden Text; sie sind vielmehr dazu bestimmt, jenen ein ungefähres Bild gleicher oder ähnlicher Maschinen zu bieten, die eines solchen Behelfes bedürfen.

Obwohl infolge der allgemeinen Einführung der Hopkinson'schen Formel auch in der Berechnungsweise aller Gleichstrommaschinen ein einheitlicher Zug deutlich zu verspüren ist, kann es doch nicht überraschen, dass sich in den einzelnen Fabriken bei der Anwendung jener Formel Verschiedenheiten ausgebildet haben. Auf letztere wurde im vorliegenden Werke ausreichend Rücksicht genommen und durch die Darstellungen der formal verschiedenen Berechnungsweisen gezeigt, wie man damit bei gleichem Ausgangspunkt doch zum erstrebten gleichen Ziel gelangt.

Im einzelnen wurde auch an einigen Versuchsrechnungen erläutert, wie man im Verlauf der Rechnung auf Abwege geraten kann und wie ein Irrtum in der Rechnung schon im Vorhinein durch die Resultate praktischer Erfahrungen der Richtigstellung zugeführt wird; selbstverständlich muss man dabei über solche Erfahrungen verfügen.

Es ist auch nicht verabsäumt worden, darauf hinzuweisen, welch grossen Nutzen Kontrollrechnungen bei Konstruktionsarbeiten bringen und erhellt aus den bezüglichen Darbietungen neuerdings die ohnehin jedem Konstrukteur bekannte Regel, dass es immer gut ist, zu praktischen Ausführungen die Konstruktion auf zwei verschiedenen Wegen zu bestimmen und etwa differierende Rechnungsresultate nach jener Richtung zu entscheiden, welche die grössere Sicherheit verspricht, unbekümmert darum, ob infolge dessen höhere Kosten erwachsen.

Die Angabe des jeweiligen Maassstabes auf den Tafeln musste unterbleiben. Bei den vielen verschiedenen Übertragungen (vom Original auf die Copie, von dieser in das Photogramm, von diesem auf den Stein und schliesslich beim Druck) war infolge des Verziehens der Papiere nicht zu vermeiden, dass Abweichungen von den ursprünglichen Linienlängen der Originale entstanden sind. Da aber die wirklichen Maasszahlen — wie in jeder korrekt technischen Konstruktionszeichnung — gewissenhaft eingeschrieben wurden, ist die Angabe des je zugehörigen Maassstabes auch gar nicht nötig; der fachkundige Techniker wird übrigens das Grössenverhältnis des Ganzen gar bald und leicht erkennen können. Aus den vielen Maasszahlen wird er sich auch ein etwa fehlendes und weiter wünschenswertes Maass zu ermitteln wissen.

Bei den Rechnungen wurden jene in der Praxis üblichen Abkürzungen und Abrundungen ausgeführt, die ihre Erklärung teils in der Benutzung des Rechenstabes, teils in dem Bestreben finden, die Rechnungsdurchführung rasch im Kopfe ausführen zu können, wenn es auf peinliche Genauigkeit nicht ankommt. Der exakte Nurmathematiker wird daran vielleicht Anstoss nehmen; wer aber weiss, »wie es in der Praxis gemacht wird«, dürfte ohnehin über etwaige kleine Abweichungen keine langen und breiten Aufklärungen verlangen.

Überhaupt sind alle gebrachten Zeichnungen und die meisten zugehörigen Texte Ergebnisse thatsächlich ausgeführter Arbeiten, was dem Buche nicht zum Nachteil gereichen dürfte. Theoretiker werden übrigens Freude darüber empfinden, wenn sie aus diesem Werke ersehen, welch günstigen Einfluss die Resultate wissenschaftlicher Forschungen auf die Leistungen der Praxis ausgeübt haben.

Dresden, im November 1899.

Der Verfasser.

Inhalts-Verzeichnis.

1. Teil.

Zweipolige Gleichstrommaschinen.

2. Teil.

Vier- und sechspolige Gleichstrommaschinen.

3. Teil.

Mehrpolige Gleichstrommaschinen.

Anhang.

Tabellen.

Tabellarische Zusammenstellung

jener elektrischen Maschinen, welche in den Tafeln skizziert oder im Text berechnet und beschrieben wurden.

Tafel No.	Klemmenspannung e V.A.	Stromstärke i A.	Kilowatt $\frac{ei}{1000}$	Nötige Betriebskraft P.S.	Tourenzahl in der Minute n	Schaltungsart N., C. oder H.	Zahl der Pole	Ring- oder Trommel-Anker (R.T.)	Maschinen-Type	Anmerkung	Text auf Seite
3	110	20	2,2	3,8	1560	N.	2	R.	Offene Form, Kapp-Type		18
4	110	60	6,6	10,5	1270	N.	2	T.	Geschlossene Form, Lahmeyer-Type		23
5	110	273	30,03	50	710	N.	2	T.	Siemens & Halske, L. H.		26
—	105	370	39,0	56	350	N.	2	T.	Offene Form, Kapp-Type		30
6/7	240/340	35/25	8,4	13	1200	N.	2	T.	Geschlossene Form, Lahmeyer-Type		35
—	110	15	1,65	3	1800	N.	2	T.	Geschlossene Form, Lahmeyer-Type		41
—	110	15	1,65	3	1800	C.	2	T.	Geschlossene Form, Lahmeyer-Type		42
—	110	15	1,65	3	1500	N.	2	T.	Geschlossene Form, Lahmeyer-Type	Motor	43
—	110	25	1,525	2,2	1500	C.	2	T.	Geschlossene Form, Lahmeyer-Type		45
8	65	150	9,750	14	1100	C.	2	R.	Manchester-Type		47
9/10	120	108	13,0	20	1150	N.	2	T.	Kummer-Type		53
11/12	65	12	0,78	1,5	1600	H.	2	R.	Flachring		60
13	120/178	250/168	30	45	600	N.	4	T.	Lahmeyer-Type		62
14	120	400	48	68	250	N.	4	R.	Kummer-Type		69
15	115	87	10	16	1000	N.	4	T.	Type Brown, Boveri & Cie.		72
16/17	120/180	600/400	70	100	450	N.	6	R.	Lahmeyer-Type		74
18	550	727	400	600	90	C.	10	T.	Walker-Type	für Bahn	79
19	550	145	800	1175	90	C.	12	T.	»	» »	83
19	460	200	100	135	250	C.	6	T.	»	» Licht	83
20	570	1540	87,78	1275	90	N.	18	R.	Kummer-Type	» Bahn	85

(Die Tafeln 1 und 2, ferner 21, 22, 23, 24 und 25 bieten verschiedene Diagramme und allgemeine Hilfskonstruktionen.)

Tabelle der in Anwendung gebrachten algebraischen Bezeichnungen.

(Der Verfasser versuchte, wie so viele andere, überall für die gleichen Begriffe gleiche Zeichen einzuführen. Es ist — ebenfalls wie so vielen anderen — nicht gelungen; denn es ist üblich, die Formel so einzuführen, wie sie der Autor derselben aufgestellt und eingeführt hat und zwar mit guter Begründung. Trotzdem wurde versucht, die nachstehenden, zumeist auch von Kittler gebrauchten Bezeichnungen möglichst gleichmässig durchzuführen. Wo andere Buchstaben eingeführt oder wo dieselben Buchstaben in anderem Sinn gebraucht wurden, ist dieser Umstand so ersichtlich gemacht, dass für den aufmerksamen Leser Irrungen unmöglich sind.)

Φ Grösse des Kraftstromes in C.-G.-S.-Einheiten.
H Feldintensität.
B Magnetische Induktion pro 1 *qcm* des Eisenquerschnitts.
μ Koëffizient der magnetischen Durchlässigkeit (Permeabilität).
p { Zahl der Pole / » » Polpaare.
Q_1 Eisenquerschnitt des Ankers.
Q_2 Luftquerschnitt.
Q_3 Eisenquerschnitt des Elektromagneten.
L_1 Länge des Kraftstromweges im Anker.
L_2 Länge des Kraftstromweges im Luftraum.
L_3 Länge des Kraftstromweges im Elektromagneten.
B_1 Magnetische Induktion im Anker.
B_2 Magnetische Induktion im Luftraum.
B_3 Magnetische Induktion im Elektromagneten.
R Widerstand } ohne bestimmenden Index
J Stromstärke } also »im allgemeinen«
E Elektromotorische Kraft.
e Klemmenspannung.
i Stromstärke, nutzbare, äussere.
J_1 Von der Armatur gelieferter Gesamtstrom.
J_2 Erregerstrom in den Elektromagneten.
J_2' Stromstärke in der Compound-Wickelung.
r Äusserer Widerstand.
R_1 Anker-Widerstand (zwischen den Bürsten).
R_2 Elektromagnet-Widerstand.
R_2' Compound-Widerstand.
V Volt.
A Ampère.
ei Watt.
kw Kilowatt.
l Nutzeffekt.
L Totaler elektrischer Effekt.
$\gamma = \frac{l}{L}$ der elektrische Wirkungsgrad.
n Tourenzahl pro 1 Minute.
n_1 » » 1 Sekunde.
v Riemengeschwindigkeit.
N Anzahl der Windungen.
JN Ampère-Windungen (A.W.).
P.S. Pferdestärken (= 75 *m/kg* = 736 Watt).
η der mechanische Wirkungsgrad.

Einleitung.

Zur Erregung elektrischerEnergie mittels Maschinen ist das Zusammenwirken dreier Faktoren nötig: Ein magnetischer Kraftstrom muss auf geschlossene Elektrizitätsleiter einwirken, während eine mechanische Kraft die Veränderung der relativen Lage der beiden erstgenannten Faktoren in solcher Weise bewirkt, dass die Bewegungsbahnen einen Winkel bilden und nicht etwa parallel verlaufen.

Der Konstrukteur betrachtet daher jede elektrische Maschine in drei Hauptbeziehungen:

1. bezüglich des magnetischen Kraftstromes;
2. bezüglich der rein elektrischen Funktionen und
3. bezüglich des mechanischen Aufbaues.

Bei den kleineren Maschinen ist die mechanische Anordnung zumeist von selbst gegeben und erfordert dieser Teil der Konstruktionsaufgabe nur geringe Mühe; je grösser aber die Maschine, desto mehr Aufmerksamkeit muss dem mechanischen Aufbau gewidmet werden und bei den ganz grossen Maschinen ist die Aufgabe des die mechanische Konstruktion bestimmenden Ingenieurs viel bedeutender als die Aufgabe des Elektrotechnikers.

Die ersten elektrischen Gleichstrommaschinen, die von Gramme und Siemens gebaut wurden, waren reine Modellarbeiten, d. h. man baute Maschinen, ohne zu wissen, was sie leisten werden. Nach Fertigstellung derselben wurden sie erprobt und dann so lange geändert, bis ein bestimmtes Modell geschaffen war, das dann in mehr oder weniger Exemplaren hergestellt worden ist.

Auf diese Weise wurden viele Konstruktionen ausgeführt und in manchen Fabriken wird heute noch so vorgegangen, wobei allerdings das seither errungene »technische Gefühl« das Erreichen einer beabsichtigten Type wesentlich fördert. (Siehe Tafel 11 und 12 und den zugehörigen Text.)

Dr. Frölich war der erste, der sich daran wagte, eine Theorie über elektrische Maschinen aufzustellen und zu veröffentlichen. Es darf aber bezweifelt werden, dass die von ihm geschaffenen Regeln und Formeln bei den praktisch arbeitenden Konstrukteuren vielfache Anwendung gefunden haben; denn es fehlte damals noch immer jeder Anhaltspunkt zur Berechnung der magnetischen Kräfte. In dieser Beziehung hat die Einführung der Kraftlinien-Theorie Wandel geschaffen und die Resultate der kritischen Untersuchungen und der Experimente von Hopkinson, Ewing, Corsepius und Du Bois haben dahin geführt, dass wir heute den magnetischen Kraftstrom nach Belieben erregen, in weiten Grenzen regulieren, mit einem Wort, beherrschen und — was eine Hauptsache ist — in Vorhinein ohne Schwierigkeiten berechnen können.

Der magnetische Kraftstrom.

Als Träger des Magnetismus erscheinen uns nur Schmiedeeisen, Gussstahl und Gusseisen der besonderen Beachtung wert.

Der magnetische Kraftstrom wird nach Einheiten des Centimeter-Gramm-Sekundensystems gemessen. Da die Vorstellung einer solchen Einheit für Manche Schwierigkeiten bietet, nennt man eine solche Einheit auch »Kraftlinie«. Es kann nun nicht geleugnet werden, dass dieser Ausdruck leicht zu irrigen Auffassungen verführen kann; immerhin mag er für solche, welche weniger gern abstrakt denken, eine ganz geeignete Brücke bilden, um richtige Vorstellungen über die Abmessungen der magnetischen Kräfte und deren Wirkungen zu erringen. Die Gesamtsumme magnetischer Einheiten, welche in einem Körper erregt werden oder ihn durchdringen, bezeichnen wir mit Φ; als relatives Maass für die magnetische Kraft beziehen wir uns aber meistens auf B, d. i. die Zahl der Einheiten pro Quadratcentimeter des Querschnitts Q, also:

$$\frac{\Phi}{Q} = B.$$

Von der Besprechung des »Maximums des Magnetismus« wollen wir lieber absehen, da die Maxima wohl kaum bestimmbar sind.

Als Laboratoriums-Experiment wurden bis 48000 Einheiten pro Quadratcentimer erzielt; in der Praxis gilt als oberste Grenze für:

Schmiedeeisen und Gussstahl	19000 bis 21000	
Gusseisen	10000 » 11000.	

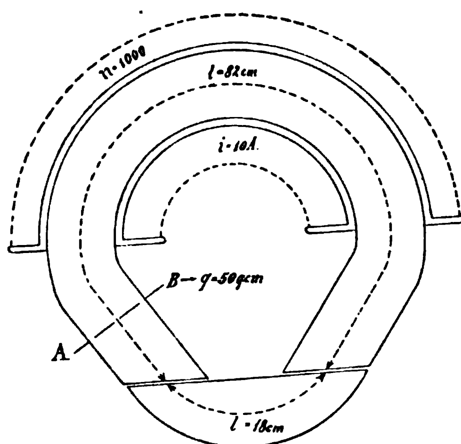


Fig. 1.

Die Fig. 1 zeigt uns die zur Erregung eines magnetischen Kraftstromes nötigen Teile. Der hufeisenförmige Eisenkörper hat eine für den Kraftstrom in Betracht kommende Länge $l = 82$ *cm* und einen Querschnitt $q = 50$ *qcm*. Der vorgelegte Anker hat denselben Querschnitt und $l = 18$ *cm*. Auf einer den Eisenkern umgebenden Spule sind $N = 1000$ Drahtwindungen aufgewickelt, in denen eine Stromstärke $i = 10$ Ampère herrscht (A. W. $= 10 \times 1000$).

Dabei ist aber angenommen, dass der Anker möglichst unmittelbar am Elektromagnet-Eisenkern anliegt. Ein absolut unmittelbares Anliegen ist undenkbar, ausser Anker und Kern wären auch aus einem Stück hergestellt und der molekulare Zusammenhang zwischen beiden Teilen wäre nie unterbrochen gewesen. Das ist aber nicht die bei elektrischen Maschinen gebräuchliche Anordnung. Für solche sind Eisengestelle als Träger des Magnetstromes in Verwendung wie sie in den umstehenden Skizzen Fig. 2 und 3 (offene und geschlossene Type) angedeutet sind.

Die Fig. 2 zeigt uns einen Kraftträger von folgenden Abmessungen:

1.	Mittlerer Kraftlinienweg im Joch	$L_4 = 160$
2.	» » » Eisenkern	$L_3 = 2 \times 200$
3.	» » in den Polschuhen	$L_p = 2 \times 120$
4.	» » » der Luft	$L_2 = 2 \times 2{,}5$
5.	» » im Anker	$L_1 = 240.$

Der Querschnitt zu L_4 L_3 ist gleichmässig $Q_4 = Q_3 = 112 \times 150$
» » » L_1 » » $Q_1 = 2\ (30 \times 150)$.

Die Berechnung von Q_2 kann mit mehr oder weniger Genauigkeit aus der Grösse der Bohrung und den Winkel gerechnet werden, mit welcher ein Polschuh den Anker umfasst. (Siehe auch Seite 19.)

Analog gestalten sich diese Grössen bei dem in Fig. 3 dargestellten Eisengerüste für eine geschlossene Dynamomaschinen-Type.

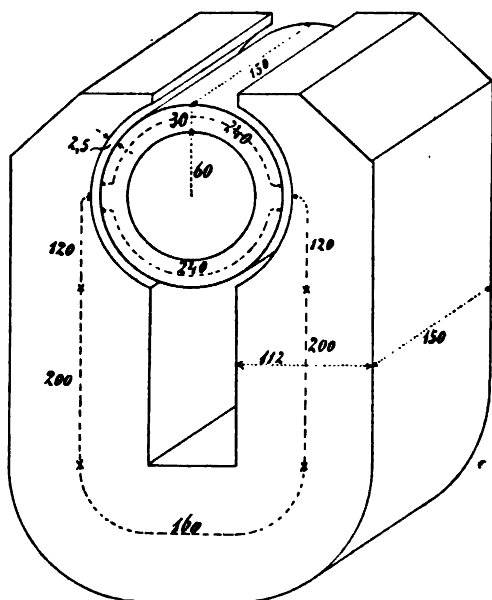


Fig. 2.

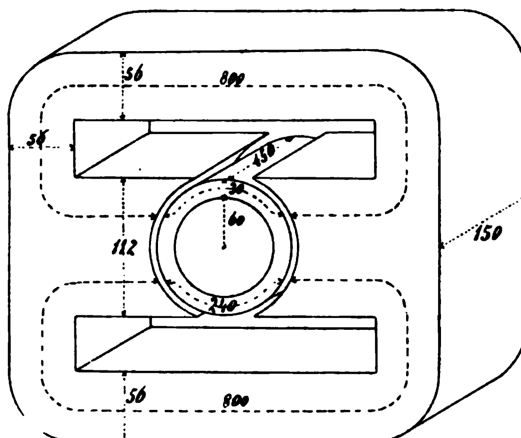


Fig. 3.

Herrn G. Kapp gebührt die Anerkennung, weiter ausgeführt zu haben, dass sich der magnetische Kraftstrom bezüglich seiner Erregung und seines Weges fast analog wie der elektrische Strom verhält. Wir können daher auch auf den magnetischen Strom die Ohm'sche Formel anwenden:

$$\Phi = \frac{\text{Magnetomotorische Kraft}}{\text{Widerstand}} = \frac{\text{A. W.}}{\text{W}}.$$

Der »Widerstand« hängt wieder ab und zwar im direkt proportionalen Verhältnis von der Länge (l) und vom Querschnitt (q) des Weges, zu letzteren ist er aber verkehrt proportional; ferner von der Temperatur des Kraftträgers und von den specifischen Eigenschaften des dazu verwendeten Materiales.

Bezüglich der letzteren müssen wir allerdings eine Abweichung von der oben erwähnten Analogie verzeichnen. Während beim Widerstand für elektrischen Strom der sogen. »elektrische Widerstandskoëffizient« eine ziemlich konstante und nur von der Temperatur beeinflusste Grösse ist, hängt der »magnetische Widerstand (d. i. der reciproke Wert der Durchlässigkeit [Permeabilität μ]) $\frac{1}{\mu}$ sehr vom sogen. »Sättigungskoëffizienten« ab und zwar wächst der Wert für $\frac{1}{\mu}$ mit der Sättigung, d. h. der Wert für die Durchlässigkeit μ wird kleiner. Der Wert für $\frac{1}{\mu}$ ist bei der Luft und beim Kupfer ohne Weiteres $= 0.8$ konst. anzusetzen.

Bezeichnen wir mit D_{max} die angenommene oberste Grenze des Magnetismus für ein bestimmtes Material und mit D die thatsächliche Einheitenzahl, dann ist:

$$\frac{D}{D_{max}} = \sigma \text{ d. i. der Sättigungsfaktor}$$

und muss der Wert desselben immer ein echter Bruch sein.

Der »magnetische Widerstand« ist also:

$$W = (1 + \alpha t^0) \frac{1}{\mu} \frac{l}{q} \varrho$$

und

$$\Phi = \frac{A.\,W.}{(1 + \alpha t^0) \frac{1}{\mu} \frac{l}{q} \varrho}; \text{ abgekürzt} = \frac{A.\,W.}{\frac{1}{\mu} \frac{l}{q}}.$$

Der Faktor $(1 + \alpha t^0)$, welcher den Einfluss der Erwärmung zur Geltung bringen soll, darf in der Praxis vernachlässigt werden (α der Wärmekoëffizient, welcher die Veränderung für einen Grad Temperaturdifferenz bedeutet, t^0 die Anzahl der Differenzgrade).

Die Grösse des Faktors ϱ hängt vom Einfluss ab, den der Sättigungsfaktor auf die magnetische Durchlässigkeit ausübt.

Sowohl μ als auch ϱ sollten für jede Materialsorte, die zur Verwendung in Aussicht genommen ist, ganz besonders bestimmt werden; es verursacht dies aber viel Mühe und Arbeit. (Siehe übrigens Tabelle 1 im Anhang.) Man vereinfacht letztere, indem man die Abhängigkeit des magnetischen Kraftstromes von der magnetomotorischen Kraft direkt ermittelt und graphisch darstellt; dabei werden gewöhnlich die Werte von A. W. pro 1 *cm* des Kraftlinienweges als Abscissen, die Werte für B als Ordinaten aufgetragen, wie wir das auf der Tafel 2 (siehe Seite 15) und in der Fig. 21, Seite 17, und an mehreren anderen Beispielen gezeigt haben.

Ein Graphikon über die statische Charakteristik, wie es die Tafel 2 zeigt, ist also der hauptsächlichste Behelf für Konstrukteure, denen die Aufgabe gestellt ist, magnetische Kraftstromträger zu bauen, oder solche Ströme zu messen und zu kontrollieren.

Die Grösse der bekannten Einwirkung des elektrischen Stromes auf magnetisierbare Körper, welche wir »magnetomotorische Kraft« nennen, hängt von der Stärke des elektrischen Stromes und von der Anzahl Windungen ab, welche den zu magnetisierenden Körper umgeben und in denen jener elektrische Strom cirkuliert. Durch Veränderungen der Faktoren des Produktes »Ampèrewindungen« (A. W.) ist dem Konstrukteur die Möglichkeit geschaffen, die Anzahl der Windungen zu beschränken, und zwar so weit, bis der in Vorhinein bestimmte Wirkungsgrad eine Grenze setzt. Bei ausgeführten Maschinen ist die Windungszahl eine konstante Grösse und weil die in die Windungen gesendete Stromstärke beliebig verändert werden kann, liegt es ganz in unseren Händen, der magnetomotorischen Kraft jenen Wert zu geben, der zur Erzielung eines bestimmten magnetischen Kraftstromes nötig ist, und kann man auch jederzeit leicht die Stärke des letzteren durch Veränderung des Produktes »Ampèrewindungen« innerhalb der obersten Grenze bis auf den Wert Null regulieren. Die sogenannten »permanenten Magnete« würden uns den Kraftstrom unentgeltlich liefern. Ein solcher hat aber nur eine geringe Stärke und, was die Hauptsache, er ist nicht regulierbar. Deswegen scheut man die geringen Betriebskosten nicht und verwendet lieber »Elektromagnete«, deren Herstellungskosten übrigens geringer sind, als die Kosten für gute permanente Magnete.

Die Tafeln 23, 24 und 25 geben über die Wechselbeziehungen zwischen Magnetismus und Ampèrewindungen weiteren und zwar ziffernmässigen Aufschluss.

Auf welche Weise die zur Erregung eines bestimmten magnetischen Kraftstromes nötige Ampère-Windungszahl berechnet wird, soll in diesem Werke bei verschiedenen Gelegenheiten ausführlich gezeigt werden. (Siehe Seite 27, 31, 38, 42, 43, 44, 46, 50 f. f.)

Die elektrischen Grössen.

Jede Veränderung der Intensität eines magnetischen Kraftstromes erregt in einer ihn umgebenden Drahtwindung eine elektromotorische Kraft vom Momentanwerte

$$E = \frac{\Phi}{10^8} \text{ Volt.}$$

Wir können E vergrössern, wenn wir statt einer mehrere (N) solche Windungen um den Kraftstromträger legen

$$E = N \frac{\Phi}{10^8} \text{ Volt.}$$

Bewegt man in einem magnetischen Felde von der Intensität = H eine Drahtwindung von der Fläche = F, dann ist

$$E = HF$$

und es ändert sich E bei centraler Anordnung bezw. kreisförmigem Weg der Windung von Moment zu Moment, wie der Sinus des Winkels, den die Windungsebene mit der Abscissenlage einschliesst.[1])

[1]) In der untenstehenden Fig. 4 wird ein Apparat dargestellt, bei welchem in den zwischen N und S gelegenen freien homogenen magnetischen Felde eine Drahtschleife um eine Achse rotiert werden kann. In der angedeuteten Lage ist die Zahl der Krafteinheiten, welche von N nach S verlaufen und die Stromebene — die vom Leiter eingeschlossene Ebene — senkrecht treffen, ein, sagen wir positives, Maximum. Wird die Schleife in der Pfeilrichtung bewegt, so nimmt die Zahl der die Ebene treffenden Krafteinheiten ab, bis sie nach einer Bewegung um 90° — wenn also Stromebene und der Kraftstrom parallel liegen — fast auf Null sinkt. Bei fortschreitender Bewegung beginnt zwar die Zahl der geschnittenen Krafteinheiten

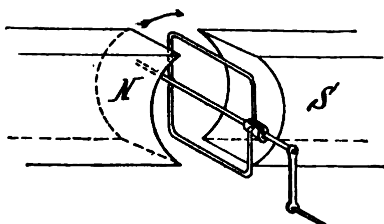


Fig. 4.

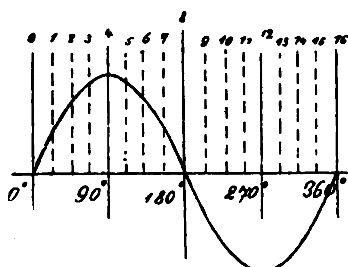


Fig. 5.

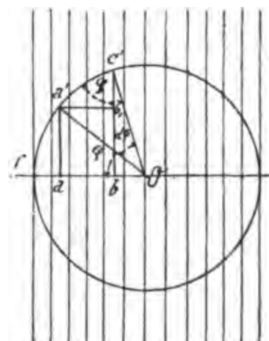


Fig. 6.

wieder zu wachsen, wir erhalten aber nach einer weiteren Bewegung um 90° ein negatives Maximum, weil der Kraftstrom nunmehr die Ebene auf der anderen Seite trifft u. s. f. Gleiche Winkelgeschwindigkeit vorausgesetzt, nimmt die Induktion elektrischer Ströme im Drahte positiv zu von 0° bis 90°, negativ von 180° bis 270°, positiv ab von 90° bis 180°, negativ von 270° bis 360°, weil bei 90° und 270° Maxima bei 0° und 180° Minima der Induktion auftreten, und es ist dieses Wachsen und Fallen durch die Sinus-Kurve (Fig. 5) veranschaulicht.

In dieser Fig. 5 wird die Grösse der Induktion von $22\frac{1}{2}°$ zu $22\frac{1}{2}°$ dargestellt.

Die Änderung der Zahl der Krafteinheiten ist dem Sinus des Drehungswinkels proportional.

Die Fig. 6 zeigt uns vor allem ein homogenes magnetisches Feld; der eingezeichnete Kreis die Bewegungsbahn. Bei der Bewegung von a' nach c' giebt die Linie a' b' die Änderung

Bei Besprechung der Fig. 4 sind wir von der Annahme ausgegangen, dass im magnetischen Felde nur eine Windung radial bewegt wird und die dabei erregte elektromotorische Kraft (E.M.K.) soll nun sofort wertmässig betrachtet werden. Es ist leicht einzusehen, dass der Wert der E.M.K. wachsen muss, wenn wir statt einer mehrere solche Drahtwindungen (Fig. 7) zu einer Spule vereinigt um eine Welle bewegen und die Erfahrung hat gelehrt, dass die Induktionswirkung noch viel mehr erhöht wird, wenn wir die Drahtwindungen auf einen Eisenkern aufwickeln, der dem magnetischen Kraftstrom als Brücke dient, um den zweiten Pol mit weniger Widerstand zu erreichen (Fig. 10). Würde diese Eisenbrücke nicht vorhanden sein, so müsste der magnetische Kraftstrom den Luftzwischenraum vom Nord- zum Südpol überspringen und hätte dabei einen ca. 700 bis 800 mal grösseren Widerstand zu überwinden, als wenn dieser Raum mit möglichst viel Eisen ausgefüllt ist. (Luft leitet den magnetischen Kraftstrom 700 bis 800 mal weniger gut als Eisen.)

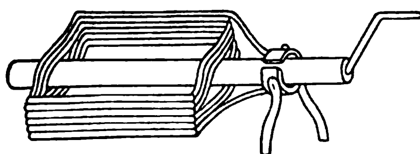


Fig. 7.

Dabei ist weiter zu berücksichtigen, dass Eisen das Bestreben hat, vom Kraftstrom möglichst viel anzuziehen und in sich zusammenzufassen,

---

der Intensität des Kraftstromes an. Ist a′ c′ so klein angenommen, dass wir diese Linie als Gerade ansehen dürfen, dann ist $\sphericalangle$ a O a′ = φ, ebenso a′ c′ b′ = φ und im rechtwinkeligen Dreieck a′ b′ c′ ist:

$$\sin \varphi = \frac{a' b'}{a' c'} \text{ bezw.}$$

$$a' b' = a' c' \sin \varphi.$$

Weil a′ c′ sehr klein, ist auch der $\sphericalangle$ a′ O c′ = d φ sehr klein und wir können daher statt des Bogens den Winkel setzen, d. i.

$$a' c' = d \varphi$$

und erhalten

$$a' b' = d \varphi \sin \varphi.$$

Bildet man nun im Kreise mehrere und zwar gleich grosse Winkel d φ und trägt man die so erhaltenen Höhen b′ c′ in ein rechtwinkeliges Koordinaten-System derart ein, dass man dieselben in jenen Abständen als Ordinaten auf der Abscisse errichtet, in welchen sie den

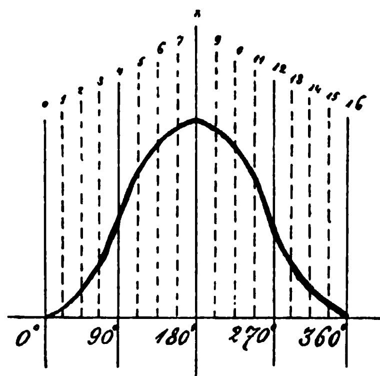


Fig. 8.

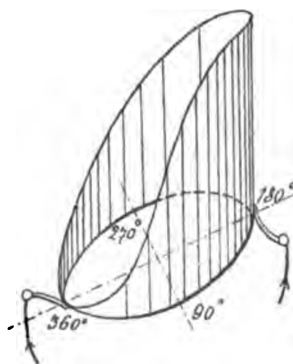


Fig. 9.

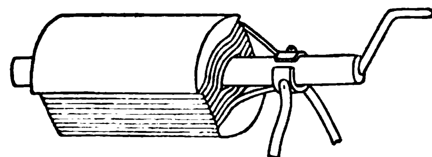


Fig. 10.

angedeuteten Horizontaldurchmesser treffen, so giebt die Verbindungslinie der Ordinaten-Punkte die in Fig. 8 dargestellte Sinus-Kurve, die nun ein Bild der Induktionswirkungen in den einzelnen Phasen des homogenen magnetischen Feldes bietet.

Summiert man die einzelnen Werte der Sinus-Kurve, so erhält man die in Fig. 8 dargestellte Integrations-Kurve des Potentials.

Die Fig. 9 zeigt dann diese Spannungs-Kurve um einen Kreis gelegt mit den Stromabnahmestellen bei 0° und 180° (und ist das zugleich die theoretische Bürstenstellung an einer magnetelektrischen Induktionsmaschine). Von dem Stromabnehmer bei 180° fliesst der Strom in die Aussenleitung und vollendet über dem Stromabnehmer bei 0° seinen Kreislauf.

während bei der Luft dieses Bestreben fehlt, wodurch die Streuung zum Leidwesen der Konstrukteure wesentlich gefördert wird.

Wir wollen hier bezüglich der elektrischen Induktion nur den für elektrische Gleichstrommaschinen zutreffenden Fall betrachten. Jeder Draht eines Ankers solcher Maschinen trifft bei einer Bewegung um 360°, wenn die Maschine »zweipolig« ist, den magnetischen Kraftstrom zweimal: zum ersten beim sogenannten Nordpol, dann beim Südpol. Sowohl beim Ring als auch bei der Trommel sind die Windungen jeder Hälfte hintereinander und die beiden Hälften parallel geschaltet und wir erhalten für jede Bewegung (auf die Sekunde bezogen) eine E. M. K.

$$E = \frac{N}{2} \frac{n}{60} 2\,\Phi = \frac{N n \Phi}{60} \text{ absolute Einheiten}$$

oder

$$= \frac{N n \Phi}{60 \times 10^8} \text{ Volt.}$$

Jede »mehrpolige« Maschine ist als eine Zusammenfassung mehrerer zweipoliger Maschinen mit gemeinschaftlichem Anker aufzufassen. Die zu je zwei Polen gehörigen Ankerteile können hintereinander (in Serie) oder, wie es meistens geschieht, parallel geschaltet werden. In letzterem Falle ist die Gesamtspannung gleich der jedes Teiles; bei der Hintereinanderschaltung ist die Gesamtspannung gleich der Summe der in den einzelnen Teilen erzielten Spannungen. Aber auch für diesen Fall gilt die Formel für E ganz ungeändert; das erhellt aus folgender Betrachtung:

Nehmen wir an, bei einer sechspoligen Maschine wäre nur ein Draht am Anker, so würde jener Draht den Kraftlinienstrom bei einer Bewegung um 360° im ganzen sechsmal schneiden und wir erhielten $E = \frac{1 \times 6\,\Phi n}{60}$. Bei N-Drähten wird in jedem Draht dieselbe E.M.K. erzeugt. Bei einer sechspoligen Ringwickelung mit Parallelschaltung liegen aber $\frac{N}{6}$ Drähte zwischen zwei Bürsten und es wird

$$E = \frac{N}{6} \cdot \frac{6\,\Phi n}{60} \text{ bezw. } E = \frac{N \Phi n}{60 \times 10^8} \text{ Volt für Parallelschaltung}$$

$$E = p \left(\frac{N \Phi n}{60 \times 10^8} \right) \text{ Volt für Serienschaltung. } \left\{ \begin{matrix} p = \text{Anzahl der} \\ \text{Kraftflüsse} = \text{Pole.} \end{matrix} \right\}$$

Die einfachen Beziehungen der elektrischen Grössen bei Dynamo-Gleichstrommaschinen hat Prof. Kittler für die verschiedenen Schaltungsarten auf leicht übersichtliche Weise in folgenden Formeln zusammengefasst.

A. Grössen, welche durch Experimente direkt bestimmbar sind. Hierher gehören:

e Klemmenspannung;
i Stromstärke im äusseren Kreis;
R_1 Widerstand im Anker;
R_2 und R'_2 Widerstand in den Elektromagnetspulen u. z. im Nebenschluss und in der Compoundwickelung.

B. Grössen, welche sich aus den vorangeführten berechnen lassen; hierher gehören:

r der äussere Widerstand;
E die elektromotorische Kraft;
J_1 die Stromstärke im Anker;
J_2 und J'_2 die Stromstärke in den Elektromagnetspulen, in Nebenschluss- bezw. Compound-Maschinen;
L der totale elektrische Effekt,
η der Wirkungsgrad;
l der Nutzeffekt;
$\gamma = \frac{l}{L}$ der elektrische Wirkungsgrad.

I. Magnet-elektrische Maschinen mit permanenten oder separat erregten Elektromagneten.

Äusserer Widerstand:	$r = \frac{e}{i}$	1
Elektromotorische Kraft:	$E = e + R_1 i$	2
Stromstärke im Anker:	$(i_1 + i_2 =)\ J_1 = i$	3
Nutzeffekt in V-A bezw. Watt:	$l = ei = i^2 r$	4
Totaler elektrischer Effekt in Watt:	$L = i^2 (R_1 + r)$	5
Elektrischer Wirkungsgrad:	$\gamma = \frac{l}{L} = \frac{e}{E} = \frac{r}{R_1 + r}$	6

II. Dynamomaschinen mit direkter Schaltung (Hauptstrom- oder Serienmaschinen).

(Fig. 11 und 12.)

$$r = \frac{e}{i} \quad (7)$$

$$E = e + i (R_1 + R_2) \quad (8)$$

$$J_1 = i_1 + i_2 = i \quad (9)$$

$$J_2 = i \quad (10)$$

$$l = ei = i^2 r \quad (11)$$

$$L = i^2 (R_1 + R_2 + r) \quad (12)$$

$$\gamma = \frac{l}{L} = \frac{e}{E} = \frac{r}{R_1 + R_2 + r} \quad (13)$$

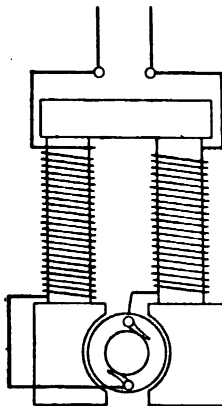


Fig. 11.

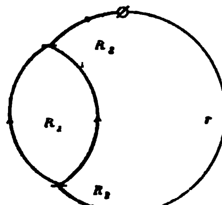


Fig. 12.

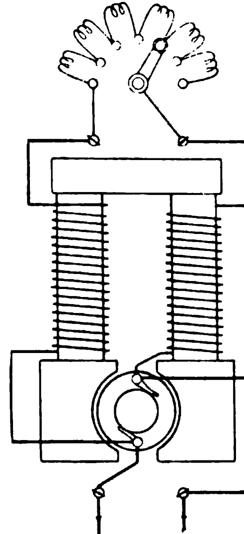


Fig. 13.

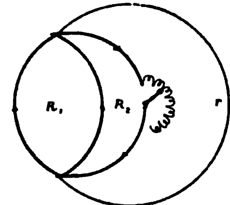


Fig. 14.

III. Nebenschluss-Maschinen.

(Fig. 13 und 14.)

$$r = \frac{e}{i} \quad (14)$$

$$E = \left(\frac{e}{R_2} + i\right)\left(R_1 + \frac{R_2 r}{R_2 + r}\right) \quad (15)$$

$$J_1 = i + \frac{e}{R_2} \quad (16)$$

$$J_2 = \frac{e}{R_2} \quad (17)$$

$$l = ei = i^2 r \quad (18)$$

$$L = J_1^2 R_1 + J_2^2 R_2 + i^2 r \quad (19)$$

$$\gamma = \frac{l}{L} = \frac{1}{1 + \frac{R_1}{r} + 2\frac{R_1}{R_2} + \frac{(R_1 + R_2) r}{R_2^2}} \quad (20)$$

IV. Doppelschluss-(Compound-)Maschinen.

(Fig. 15 und 16.)

A. R_2 parallel zu $R'_2 + r$.

$$r = \frac{e}{i} \quad \ldots \quad 21$$

$$E = e\left[1 + \frac{R_1 + R'_2}{r} + \frac{R_1\,(R'_2 + r)}{R_2\, r}\right] \quad \ldots \quad 22$$

$$J_1 = i \cdot \frac{R_2 + R'_2 + r}{R_2} \quad \ldots \quad 23$$

$$J_2 = i\,\frac{R_2 + r}{R_2} \quad \ldots \quad 24$$

$$J'_2 = i \quad \ldots \quad 25$$

$$l = ei = i^2 r \quad \ldots \quad 26$$

$$L = J_1^2 R_1 + J_2^2 R_2 + i^2 \cdot (R'_2 + r) \quad \ldots \quad 27$$

$$\gamma = \frac{l}{L} = \frac{1}{1 + \frac{R_1 + R'_2}{r} + \frac{r}{R_2} + \frac{R_1 R'^2_2 + R_2 R'^2_2 + 2 R_1 R_2 R'_2}{r R_2}}$$

$$\overline{+ \frac{r R_1}{R_2^2} + \frac{2 R_1 R'_2 + 2 R_1 R_2 + 2 R_2 R'_2}{R_2^2}} \quad \ldots \quad 28$$

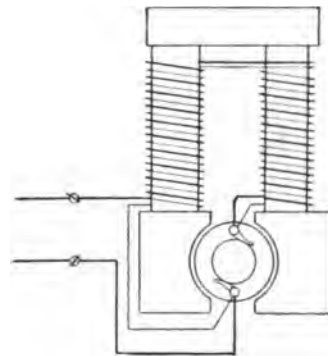


Fig. 15.

B. R'_2 parallel zu r.

$$r = \frac{e}{i} \quad \ldots \quad 29$$

$$E = e\left[1 + (R_1 + R'_2)\left(\frac{1}{r} + \frac{1}{R_2}\right)\right] \quad \ldots \quad 30$$

$$J_1 = i \cdot \frac{r + R_2}{R_2} \quad \ldots \quad 31$$

$$J_2 = i\,\frac{r}{R_2} \quad \ldots \quad 32$$

$$J'_2 = i \cdot \frac{r + R_2}{R_2} \quad \ldots \quad 33$$

$$l = ei = i^2 r \quad \ldots \quad 34$$

$$L = J_2^1\,(R_1 + R'_2) + J_2^2 R_2 + i^2 r \quad \ldots \quad 35$$

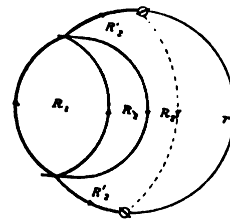


Fig. 16.

$$\gamma = \frac{l}{L} = \frac{1}{1 + \frac{R_1 + R'_2}{r} + 2 \cdot \frac{R_1 + R'_2}{R_2} + \frac{r\,(R_1 + R_2 + R'_2)}{R_2^2}} \quad \ldots \quad 36$$

Dazu citieren wir noch folgendes:

Der Spannungsabfall (Verlust) $= ir$ 37

Der Effektverlust $= i^2 r$ 38

Die elektrische Arbeit im Schliessungskreis $= \frac{EJ}{736} = \frac{E^2}{736\,R}$ 39

Die Nutzarbeit $\frac{ei}{736}$ 40

Bei zweipoligen Maschinen ist $R_1 = \frac{r_1 r_2}{r_1 + r_2} \left(= \frac{r_1}{2} = c \frac{1}{4q}\right.$ wenn $\left. r_1 = r_2 \right)$ 41

» vier- » » » $R_1 = \frac{1}{4} c \frac{1}{4q} = \frac{1}{16} c \frac{1}{q}$ 42

» sechs- » » » $R_1 = \frac{1}{6} c \frac{1}{6q} = \frac{1}{36} c \frac{1}{q}$ 43

u. s. f.

Der Widerstandskoëffizient c erhält hier immer den Wert = 0,02, wenn man die gebräuchliche Erwärmung berücksichtigt (q Querschnitt des blanken Ankerdrahtes). Beim Trommelanker ist:

die Länge einer Windung $l_w = 2b + 3{,}2D$ 44

(b Ankerbreite, D Ankerdurchmesser)

und

$\Sigma l_w = l = \frac{N}{2} (2b + 3{,}2D)$ 45

Durchmesser des blanken Drahtquerschnitts	1	2	3	4	5	6 *mm*	46
» » besponnenen »	1,5	2,6	3,6	4,7	5,8	6,9 »	

oder $d_1 = d + 0{,}5$ (bis 5 *mm* Drähte) 47

$d_1 = 1{,}1\,d$ (bei stärkeren Drähten) 48

Dies gilt für Spannungen bis ungefähr 250 Volt. Bei höheren Spannungen ist natürlich eine dickere Isolationsschicht zu verwenden.

Kupferdraht-Gewicht von 1 $m = 8{,}9\,q$ (in Gramm) 49

» -Länge » 1 $kg = \frac{1000}{\text{Gewicht von 1 } m \text{ in Gr.}}$ (in Meter) . 50

» -Widerstand » 1 $m = \frac{0{,}01677}{q}$ (in Ohm) kalt 51

» » » 1 $m = \frac{0{,}02}{q}$ (in Ohm) (normal warm im Dynamoanker) . . 52

Die Stromrichtung hängt ab von der Zu- oder Abnahme der bei der Bewegung des geschlossenen Leiters geschnittenen Krafteinheiten und von der Fläche, in welcher letztere den Leiter treffen.

Betrachtet man einen bewegten Leiter in der Richtung des Kraftstromes und nimmt bei der Bewegung die Zahl der geschnittenen Krafteinheiten zu, so entsteht im geschlossenen Leiter ein Strom, welcher entgegen der Richtung des Zeigers einer Uhr cirkuliert; nimmt die Zahl der geschnittenen Krafteinheiten ab, so ändert dann der Strom seine Richtung und cirkuliert in gleicher Richtung, wie der Uhrzeiger.

Regel: Steht der Nordpol rechts, verlaufen die Spiralwindungen des Leiters nach rechts und erfolgt die Umdrehung nach rechts, so fliesst der elektrische Strom nach aufwärts und der positive elektrische Pol liegt nach oben. Die Veränderung nur eines dieser bestimmenden Faktoren ändert auch die Stromrichtung.

Es wurde auch folgende Regel aufgestellt: Man halte die Handfläche der rechten Hand dem Kraftstrom, der vom Nordpol ausgeht, entgegen; den Daumen in der Bewegungsrichtung, dann zeigen die Fingerspitzen die Richtung des elektrischen Stromes an.

Es ist bekannt, dass als Anker sowohl Eisenringe als auch Eisentrommeln in Verwendung genommen werden. Die Fig. 17 zeigt einen Ring samt dem Schema für eine zweipolige Gleichstrommaschine, die Fig. 18 u. 19

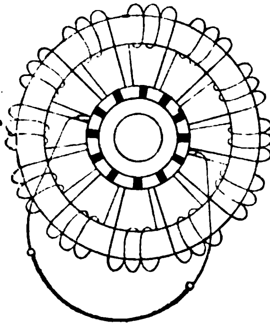


Fig. 17.

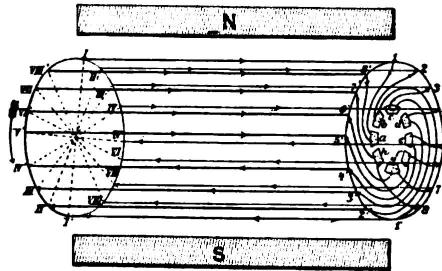


Fig. 20.

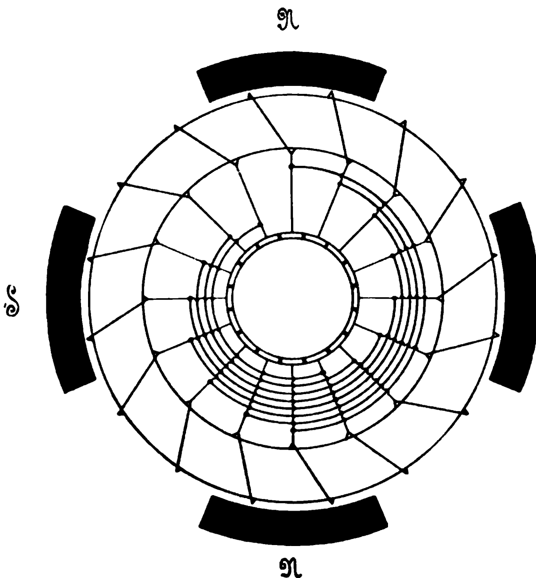


Fig. 18.

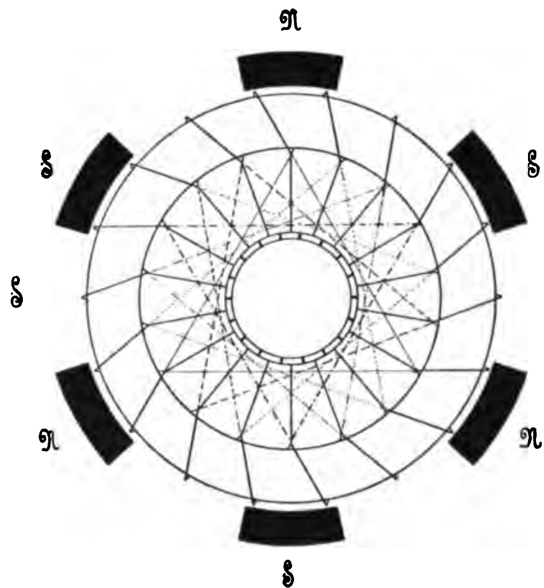


Fig. 19.

gleichfalls, und zwar für vier- und sechspolige Maschinen. Fig. 20 zeigt das Schema, nach welchem Trommelanker für zweipolige Maschinen bewickelt werden.

Da bei allen diesen Ankerwickelungen der Aufbau auch bei den kompliziertesten Verbindungen immer geometrisch gleichartig erfolgt, ist es nicht unschwer, weiter zu arbeiten, wenn ein Element richtig ermittelt ist. Um dieses aber richtig konstruieren zu können, sind wohl eingehende Studien nötig.

Weiteres über Anker siehe: Tafel 21 und 22, sowie den zugehörigen Text; sodann auch Arnold, Die Ankerwicklungen der Gleichstrom-Dynamomaschinen. Entwicklung und Anwendung einer allgemein gültigen Schaltungsregel. 2. Auflage; gebunden 12 ℳ.

Der mechanische Aufbau

jeder elektrischen Maschine erfordert die umfassendste und gewissenhafteste Berücksichtigung aller maschinentechnischen Gesetze und Regeln für rotierende Körper, um so mehr, da bei kleineren Maschinen zumeist hohe

Tourenzahlen gefordert werden; bei grossen Maschinen aber die bewegten Massen ziemlich bedeutend sind. Die Einwirkungen der oft wechselnden und nicht selten mächtigen magnetischen Anziehungen bieten ein Konstruktionsmoment, das bei anderen Maschinen nicht vorkommt, weswegen auch noch wenig Erfahrungen darüber vorliegen, sicher aber stehen solche Erfahrungen nur wenigen Konstrukteuren zur Verfügung.

Exakt wissenschaftliche Arbeiten über dieses Thema liegen ebenfalls noch nicht vor; die diesbezüglich geltenden Gesichtspunkte sind in diesem Werke so weit als möglich bei den einzelnen Konstruktionsbeschreibungen angedeutet worden.

Man glaubte lange Zeit, unsere für die Maschinenelemente erprobten und sicherstehenden Konstanten und Formeln beim Bau von elektrischen Maschinen im Werte erhöhen zu müssen. Man thut das auch heute noch, um das vorerwähnte unsichere Moment der magnetischen Anziehung zuverlässig und ausreichend zu berücksichtigen; immer mehr bricht sich aber die Überzeugung Bahn, dass in dieser Beziehung häufig zu weit gegangen wird und man kehrt gern in normale Grenzen zurück.

Der vor mehreren Jahren vielfach ausgesprochene Wunsch, es möge die Anzahl der Typen beim Bau von Dynamo-Gleichstrommaschinen verringert werden, scheint der Erfüllung nahe zu sein; denn wir haben jetzt, wenigstens für Leistungen bis ca. 80 P.S., nur mehr zwei Formen ernstlich in Betracht zu ziehen:

1. die (offene) Hufeisenform (Fig. 2, Seite 3) und
2. die (geschlossene) Kastenform (Fig. 3, Seite 3).

Die erstere wird auch Edison- oder Kapp-Form genannt, während die zweite Form allgemein und einstimmig als Lahmeyer-Form bezeichnet wird.

Da es sich nun vorerst nur um Betrachtung von Normal-Typen handelt, wurden hier in erster Reihe (Tafel 3 und 4) die bezüglichen Berechnungen und Skizzen ohne Rücksicht auf besondere Ausführungen verfasst; um dann mit Beziehungen darauf besondere Konstruktionen eingehender zu behandeln.

Allerdings giebt es nunmehr eine bedeutende Anzahl verschiedener Berechnungsarten für Dynamos; dieselben finden jedoch zumeist einen gemeinschaftlichen Vereinigungspunkt in der Hopkinson'schen Formel:

$$\frac{4\pi}{10} NJ = l_1 f(\varepsilon_1 B_1) + 2 l_2 B_2 + l_8 f(\varepsilon_3 B_8) \; \ldots\ldots$$

(Siehe dazu die Erläuterungen zur Tafel 8, Seite 47.)

Tafel 1.

Diagramme H zu B über Dynamo-Bleche.

Als Ausgangspunkt für die Detailkonstruktion von Dynamomaschinen wählt man heutzutage meistens den Ankerkern und deswegen sind die besonderen Eigenschaften und Abmessungen der dazu verwendeten Eisenbleche von hervorragender Wichtigkeit. Besonders die Permeabilität der Eisensorte übt einen hohen Einfluss auf den Wirkungsgrad der Maschine und die Kosten des Aufbaues. Es ist daher nötig, dass der Konstrukteur über die Eigenschaften der zur Verwendung gelangenden Materialsorten genau unterrichtet ist. Für rationelle Fabriksbetriebe ist es deswegen unerlässlich, magnetische Untersuchungen und Messungen vorzunehmen, zu welchen wir den bekannten Apparat von Dr. A. Koepsel bestens empfehlen können. Bei Verwendung desselben werden die Probeblechstreifen zurechtgeschnitten und einer zehnmaligen vollständigen Magnetisierung unterworfen, d. h. bei vollständigem Stromwechsel in richtiger Reihenfolge mit dem Wachsen und Abnehmen des Stromes in der magnetisierenden Spule werden zehn volle Cyklen durchlaufen. Die punktweise fortschreitende Aufnahme der H-B-Kurve vollzieht sich in der Weise, dass stets auf dem absteigenden positiven Zweige der Induktion B bei abnehmender Feldstärke H begonnen wird. Die Induktion B und die Feldstärke H sinken dann zunächst bis zur Remanenz, d. h. H = Null; sodann bis zur Koercitivkraft C, d. h. B = Null. Schliesslich bis zur höchsten magnetischen Induktion $-B_m$, worauf dann bis zur höchsten positiven Induktion $+B_m$ gestiegen wird.

Man nimmt an, die beiden Maxima der Induktion liegen bei der Feldstärke H = 140.

Da der vorerwähnte Apparat, wie alle Messinstrumente dieser Art, von der Horizontalkomponente des Erdmagnetismus beeinflusst wird, ist es angezeigt, sowohl die positive (obere) als auch die negative (untere) Hälfte der Hysteresisschleife vollständig aufzunehmen und bei der Flächenermittelung zu berücksichtigen.

Es empfiehlt sich, die zu den Messungen dienenden Apparate in einer staatlichen Aichanstalt (Berlin-Charlottenburg) prüfen und die Konstanten ermitteln zu lassen; denn nur so ist dem Praktiker die Sicherheit geboten, dass er die Scheerungslinien exakt feststellen kann.

Die Firma Capito & Klein in Benrath a. Rh. hat auf die vorbeschriebene Weise eine grosse Reihe von solchen Messungen ausgeführt; von einigen derselben sind die Kurven auf Tafel 1 verzeichnet und bringen wir zur leichteren Übersicht auch noch die bezüglichen Zifferntabellen:

Tafel 1, Diagramm, Fig. 1.

Mittlere Blechstärke $S = 0{,}04994$ *cm*
Eisenquerschnitt der Probe $Q = 0{,}3995$ *qcm*
Fläche der Kurve $F = 22{,}69$ *qcm*
Maximal-Induktion $B_m = 16500$
Energieverlust pro *ccm* Eisen

$$V = \frac{5000\,Q}{4\,\pi}\quad 9155$$

$$\eta = \frac{5000\,Q}{4\,\pi\,B_m^{1,6}} = 0{,}00163$$

H	B	H	B
+ 94,9	+ 15930	− 94,7	− 15900
65,4	15400	65,1	15350
44,3	15000	44,2	14900
27,8	14400	27,8	14400
16,7	13700	16,7	13700
11,2	13000	11,2	13000
7,4	12050	7,4	12050
4,2	10700	4,2	10600
2,1	9100	2,1	9030
1,1	8050	1,1	8000
0	6120	0	6000
− 1,1	+ 2520	+ 1,1	− 2400
2,0	− 850	2,0	+ 1000
3,2	4050	3,2	4200
4,2	6200	4,1	6200
5,4	8000	5,5	8000
7,4	9750	7,4	9980
11,2	11500	11,2	11450
16,8	12800	16,8	12750
28,0	14000	27,9	14000
44,6	14750	44,5	14600
65,7	15250	65,6	15200
94,9	15850	95,0	15750
140,1	16500	140,1	16450

Tafel 1, Fig. 2.

$S = 0{,}05506$ *cm*
$Q = 0{,}33036$ *qcm*
$F = 17{,}84$ *qcm*
$B_m = 17600$
$V = 7170$

$$\eta = \frac{5000\,Q}{4\,\pi\,B_m^{1,6}} = 0{,}00114$$

H	B	H	B
+ 96,2	+ 17100	− 95,6	− 16900
65,8	16600	65,6	16400
44,5	16120	44,3	16000
27,8	15630	27,8	15480
16,7	15000	16,7	14800
11,2	14400	11,2	14100
7,3	13450	7,3	13200
5,5	12600	5,5	12480
4,2	11900	4,2	14700
3,2	11100	3,2	11700
2,1	10100	2,2	11000
1,2	8900	1,2	8900
0	6500	0	6300
− 1,1	+ 1500	+ 1,1	− 1300
2,1	− 2470	2,1	+ 2560
3,2	5600	3,2	5800
4,2	7600	4,2	7750
5,5	9400	5,4	9500
7,4	11020	7,4	11200
11,2	12850	11,2	13000
16,8	14100	16,8	14250
28,0	15100	28,0	15400
44,8	15850	44,7	16000
66,0	16380	66,0	16520
96,2	16900	96,1	17050
141,5	17500	141,4	17600

Tafel 1, Fig. 3.

$S = 0{,}061133$ *cm*
$Q = 0{,}366798$ *qcm*
$F = 19{,}76$ *qcm*
$B_m = 16850$

$$V = \frac{5000\,Q}{4\,\pi} = 7870$$

$$\eta = \frac{5000\,Q}{4\,\pi\,B_m^{1,6}} = 0{,}00136$$

H	B	H	B
+ 96,7	+ 16150	− 95,4	− 16250
66,1	15650	65,6	15750
44,8	15200	44,5	15300
28,0	14750	28,0	14900
16,8	14200	16,8	14300
11,3	13650	11,2	13850
7,6	13000	7,6	13060
4,2	11800	4,2	11900
2,1	10200	2,1	10370
0	6230	0	6550
− 1,1	+ 1480	+ 1,1	− 1940
2,1	− 2300	2,1	+ 2000
3,2	5350	3,2	5030
4,2	7350	4,2	7030
5,6	9100	5,5	9000
7,6	10900	7,6	10700
11,2	12500	11,2	12430
16,9	13530	16,9	13500
28,1	14500	28,1	14500
44,9	15150	44,9	15050
66,2	15650	66,2	15600
96,2	16230	96,2	16130
142,4	16900	142,9	16850

Tafel 1, Fig. 4.

$S = 0{,}10755$ *cm*
$Q = 0{,}4302$ *qcm*
$F = 22{,}84$ *qcm*
$B_m = 18100$

$$V = \frac{5000\,Q}{4\,\pi} = 9090$$

$$\eta = \frac{5000\,Q}{4\,\pi\,B_m^{1,6}} = 0{,}00140$$

H	B	H	B
+ 97,8	+ 17700	− 97,2	− 17540
66,9	17200	66,5	17040
45,1	16600	45,0	16550
28,2	15970	28,2	15950
16,9	14650	16,9	14550
11,3	13480	11,3	13450
7,6	12100	7,5	12060
4,2	10500	4,2	10500
2,1	8950	2,1	8950
1,1	7950	1,1	7950
0	6100	0	6050
− 1,1	+ 2700	− 1,1	− 2670
2,1	− 100	2,1	+ 150
3,2	2850	3,2	2830
4,2	4850	4,2	4700
5,6	6800	5,6	6600
7,6	8900	7,6	8800
11,3	11320	11,3	11200
17,0	13300	17,0	13100
28,3	15250	28,2	15100
45,3	16460	45,2	16300
67,0	17000	66,9	16970
97,9	17520	97,2	17500
145,2	18100	144,7	18050

Tafel 1, Fig. 5.

$S = 0{,}10876\ cm$
$Q = 0{,}43439\ qcm$
$F = 20{,}06\ qcm$
$B_m = 17520$

$$V = \frac{5000\ Q}{4\pi} = 8000$$

$$\eta = \frac{5000\ Q}{4\pi\ B_m^{1,6}} = 0{,}00130$$

H	B	H	B	H	B	H	B
+ 96,0	+ 17050	− 95,3	− 16900	− 1,2	+ 2050	+ 1,1	− 1900
65,7	16500	65,3	16400	2,1	− 1500	2,1	+ 1600
44,3	16000	44,2	15900	3,2	4500	3,2	4650
27,8	15400	27,7	15200	4,2	6500	4,2	6600
16,7	14450	16,7	14250	5,4	8200	5,4	8280
11,2	13460	11,2	13250	7,3	9900	7,3	10000
7,3	12250	7,3	12100	11,2	11800	11,2	11900
5,4	11400	5,4	11200	16,8	13350	16,7	13450
4,2	10600	4,2	10500	27,9	14750	27,9	14850
3,2	10000	2,1	8800	44,7	15600	44,6	15750
2,1	9000	1,1	7720	95,9	15850	65,8	16400
1,2	7900	0	5750	141,2	17500	95,8	17000
0	6000					141,0	17520

Zusammenstellung einiger mittlerer Werte von verschiedenen Untersuchungen an Dynamo-Eisenblechen.

Mittlere Blech-stärke S in *cm*	Eisenquer-schnitt der Probe Q in *qcm*	Fläche der Kurve F in *qcm*	$+ H_m$	$+ B_m$	Verlust	Coer-citiv-kraft	Rema-nenz	$\eta = \frac{5000\ Q}{4\pi\ B_m^{1,6}}$	Verlust $V = \frac{5000\ Q}{4\pi}$ pro *ccm* Eisen
0,0486	0,3888	25,3	139,1	17 200	10 070	1,2	7100	0,00168	10 070
0,06673	0,40038	21,0	139,8	17 000	8 360	1,0	5800	0,001424	8 360
0,05142	0,3599	22,7	139,8	18 200	9 156	1,4	9000	0,0014	9 156
0,0522475	0,3656	25,14	139,6	17 500	10 000	1,6	8550	0,00164	10 000
0,06635	0,39806	21,8	140,1	16 500	8 680	1,3	6700	0,00155	8 680
0,06511	0,39066	24,0	138,8	17 050	9 555	1,2	7230	0,001627	9 555
0,0626	0,37553	23,0	140,5	17 000	9 156	1,1	7050	0,001559	9 156
0,06286	0,37715	19,54	140,3	17 050	7 780	1,0	7100	0,00132	7 780
0,05506	0,33036	17,84	141,8	17 600	7 170	1,0	6500	0,00114	7 170
0,10876	0,43439	20,06	141,0	17 520	8 000	1,1	6000	0,0013	8 000
0,05416	0,43326	27,40	143,2	18 250	10 900	1,1	6400	0,00166	10 900
0,06617	0,4632	24,52	142,2	17 600	9 753	1,2	6400	0,00159	9 753
0,0598	0,3588	19,2	146,1	17 250	7 643	1,0	6400	0,001271	7 643
0,04994	0,3995	22,69	140,1	16 500	9 135	1,3	6120	0,00163	9 155
0,05418	0,37926	24,0	143,7	16 600	9 554	1,3	6500	0,00169	9 554
0,06113	0,366798	19,76	142,9	16 850	7 870	1,1	6230	0,00136	7 870
0,10755	0,4302	22,84	144,7	18 100	9 090	1,5	6100	0,00140	9 090
0,0629	0,3774	23,00	143,4	16 250	9 156	1,0	6500	0,00165	9 156
0,05331	0,37320	23,12	146,3	16 900	9 200	1,1	6750	0, 00158	9 200

(Siehe auch Tabelle 1 im Anhang.)

Tafel 2.

Diagramme H zu B für Luft, Gussstahl, Schmiede- und Gusseisen und Hysteresis in Eisenblechen. (Mittlere Werte.)

Diese Diagramme sind Resultate zahlreicher Messungen und sind für Gussstahl und Gusseisen die Grenzwerte eingesetzt worden. Die Werte für Gussstahl sind ziemlich übereinstimmend mit jenen für Schmiedeeisen. Bei der Berechnung der pro 1 *cm* des Kraftlinienweges nötigen Ampère-Windungen wurde gleich ein Streuungskoëffizient von ca. 1,4 mitberechnet; die Tafel ist also direkt zur Berechnung von elektrischen Maschinen für dort geeignet, wo von der besonderen Ermittelung solcher Kurven abgesehen wird.

Sollen aber Maschinen entworfen und die Details konstruiert werden, um sie wirklich ausführen zu lassen, dann wird das experimentelle Ermitteln der Kurven für die zu verwendenden Materialien nicht zu umgehen sein und es sei hier ausdrücklich betont, dass alle solche Diagramme und bezügliche Tabellen sich immer nur auf ganz spezielle Materialsorten beziehen.

Will man möglichst sicher vorgehen, so wird empfohlen, mehrere derartige Diagramme und Tabellen zur Ermittelung der zur Erregung eines magnetischen Kraftflusses nötigen Ampère-Windungen zu benutzen und dann eine geeignete Mittelziffer zu wählen.

Wir verwendeten zu den in diesem Werke enthaltenen Berechnungen meistens die Diagramme der Tafel 2; bringen aber noch nachstehend eine von Uppenborn ausgearbeitete und vortrefflich verwendbare Tabelle; desgleichen von demselben stammende Diagramme auf Seite 17 (Fig. 21).

Ausserdem zeigt Fig. 1 der Tafel 23 ähnliche und zwar neuere und exakte Diagramme von Du Bois und die Tafeln 24 und 25 solche von Rühlmann. (Siehe übrigens auch Tabelle 2 im Anhang.)

Die Fig. 2, Tafel 23, zeigt in Form von Diagrammen, welchen Einfluss die Temperaturerhöhung auf die Bestimmung der Drahtquerschnitte bei bestimmten Ampère-Belastungen ausübt.

Tabelle.

Zur Berechnung magnetisierender Kräfte.

Kraftlinienzahl pro *qcm* = B	Ampère-Windungen pro *cm* Länge des Kraftflusses			
	Gusseisen	Schmiedeeisen	Flusseisen	Luft
1 000		1,2	0,80	800
2 000		1,71	1,02	1600
3 000		1,60	1,27	2400
4 000	4,2	1,92	1,53	3200
5 000	7,3	2,21	1,80	4000
6 000	17,2	2,53	2,08	4800
7 000	35,6	2,85	2,36	5600
8 000	64,0	3,23	2,73	6400
9 000	100,6	3,65	3,17	7200
10 000	150,4	4,26	3,66	8000
11 000	233,6	5,02	4,30	8890
12 000		5,97	5,20	9600
13 000		6,85	6,45	
14 000		8,44	8,2	
15 000		11,65	10,5	
16 000		16,05	14,5	
17 000		24,50	23,3	
18 000		37,20		(Uppenborn.)
19 000		48,80		
20 000		61,25		

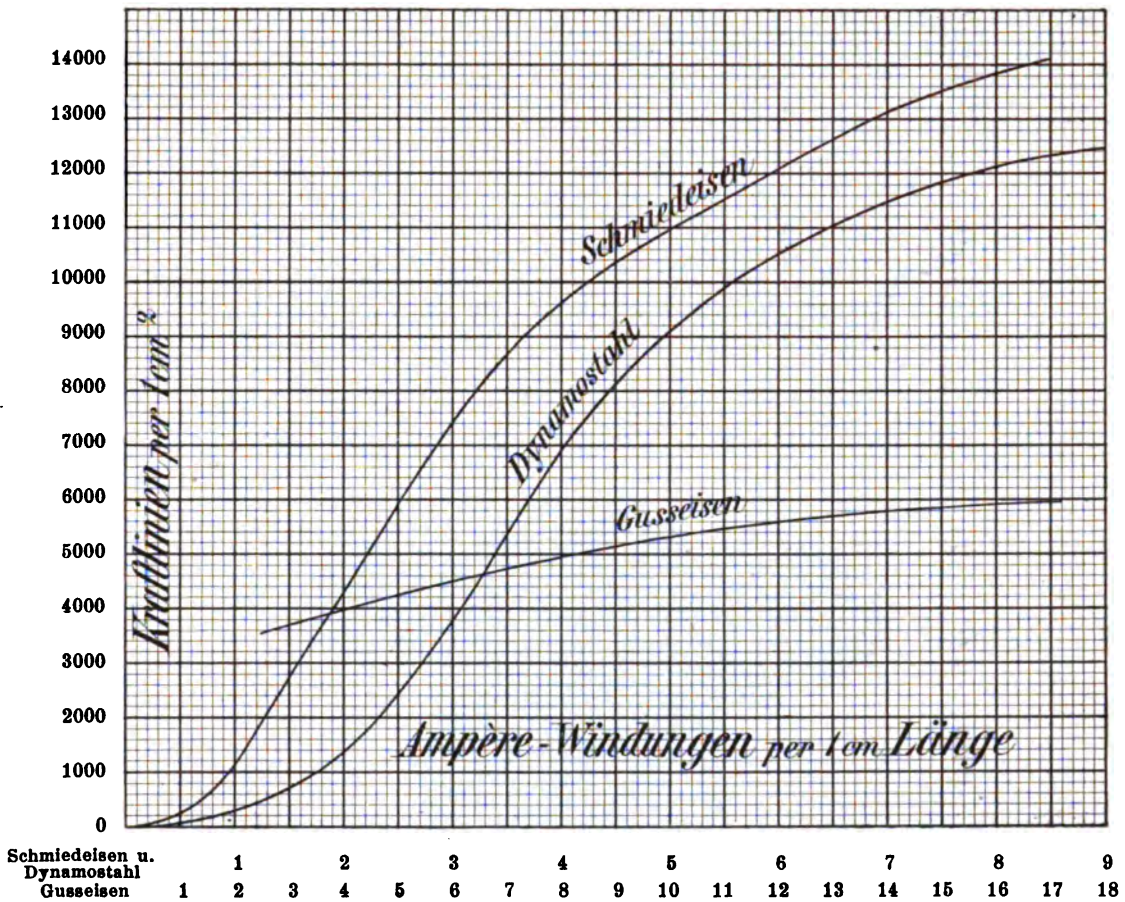

14000
13000
12000
11000
10000
9000
8000
7000
6000
5000
4000
3000
2000
1000
0
Kraftlinien per 1 cm²
Schmiedeisen
Dynamostahl
Gusseisen
Ampère-Windungen per 1 cm Länge
Schmiedeisen u. Dynamostahl 1 2 3 4 5 6 7 8 9
Gusseisen 1 2 3 4 5 6 7 8 9 10 11 12 13 14 15 16 17 18

Fig. 21.

1. Teil.

Zweipolige Gleichstrommaschinen.

Tafel 3.

Offene zweipolige Nebenschluss-Dynamomaschine.

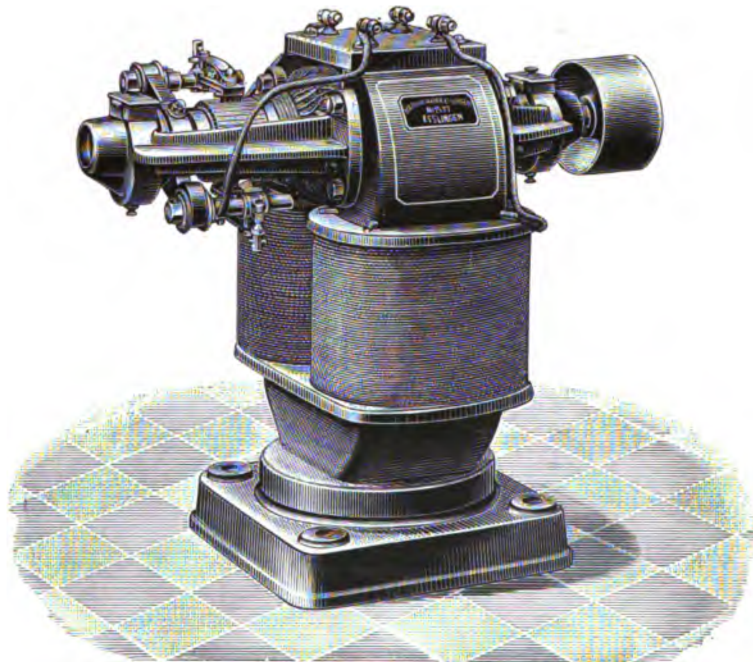


Fig. 22.

$e = 110$ V; $i = 20$ Ampère;
$ei = 2200$ Watt; $n = 1560$; Kraftverbrauch $\sim$ 3,8 P.S.

Wir wollen, wie schon früher angedeutet, hier vorerst ein Normalmodell aufstellen und geben daher nur die Resultate aus einer grossen Reihe ausgeführter Messungen an thatsächlich gebauten und der wirklichen Verwendung zugeführten Maschinen, ohne vorläufig auf eine weitgehende Begründung in Regeln und Formeln besonderen Wert zu legen. Solche Begründungen werden wir dort bringen, wo es sich mehr um Vorausberechnungen oder um Kontrollierung handelt.

Wir können daher auch zusichern, dass bei einer etwaigen Ausführung dieser Maschine nach unseren Angaben, bei Verwendung tadellosen Materiales und bei exakter Arbeit die im Titel bezeichnete Leistung bis auf $\pm 5\%$ Genauigkeit erreicht werden wird.

Die Fig. 1 zeigt die ideale Skizze unseres Normalmodells, wie eine solche wohl bei jeder neuen Konstruktion aufgestellt werden dürfte.

Die Maschine erzeugt bei

minutlichen Umdrehungen $n = 1560$,

(pro Sekunde) $n_1 = \frac{1560}{60} = 26$;

eine Klemmenspannung $e = 110$ Volt;

eine Stromstärke $i = 20$ Ampère,

also eine Nutzleistung $ei = 2200$ Watt.

Wir bezeichnen als Klemmenspannung hier immer die sogenannte Nutz- oder auch Betriebsspannung. Liegt zwischen Dynamo- und Betriebsobjekt eine längere Leitung, so muss auf den Spannungsverlust in der Leitung Rücksicht genommen und eventuell mehr Klemmenspannung erregt werden.

Der Anker ist als Ring ausgebildet und wird aus 250 Eisenscheiben, je 0,5 *mm* dick und je 60 *g* schwer aufgebaut. Um diese Scheiben magnetisch voneinander zu isolieren, werden sie beiderseits lackiert. Das Eisengewicht des Ankers beträgt 15 *kg*.

Auf der Tafel ist mittels roten Unterdrucks eine solche Scheibe in natürlicher Grösse skizziert und sind aus derselben folgende Abmessungen zu ersehen:

der äussere Radius $r_a = 90$ *mm*

» innere » $r_i = 60$ » und

» Schwerpunktsradius $r_s = 75$ »

die Länge des Ankers $l_a = 160$ » und

der Querschnitt des Ankers $Q_1 = 160 \times 30 = 48$ *qcm*.

Die Ankerscheiben sind stark aneinander gepresst und werden durch starke Seitenplatten aus Bronze und eventuell mittels dreier durchgehender Messingbolzen in ihrer Lage festgehalten. Bei so kleinen Maschinen sind diese Bolzen allerdings nicht unbedingt nötig, besonders wenn das Ankereisen mit gut passenden Schrumpfringen auf der Welle festgehalten wird oder sonstwie Vorsorge getroffen ist, dass jede Lageveränderung im Anker ausgeschlossen erscheint. Die Schwalbenschwänze zur Befestigung des Ankerkreuzes werden nach Fertigstellung des Eisenringes ausgefräst.

Die Wickelung besteht aus Kupferdraht, dessen Durchmesser

$d = 1,4$ *mm* blank

$d_1 = 1,7$ » umsponnen gewählt worden ist.

Es sind 300 Windungen (N) in 60 Spulen à 5 Drähten aufgebracht und sind letztere nur nebeneinander gelegt, keine übereinander gewickelt. Die Zahl der Drähte am Ankerumfang gezählt = 300.

Unter Berücksichtigung der Konstruktion zeigt die Rechnung, dass die gesamte Drahtlänge am Anker 120 *m* beträgt und das giebt einen an den Bürsten gemessenen Widerstand

$$R_1 = \frac{0,02 \times \frac{120}{1,53}}{4} = 0,39 \text{ Ohm}.$$

$$\text{Die Drahtbeanspruchung} = \frac{10,4}{1,53} = \sim 7 \text{ Ampère}.$$

Der Anker wiegt inklusive Wickelung, Kollektor und Achse

~ 35 *kg*.

$$\text{Die Kraftlinienzahl } \Phi_A = \frac{10^8 E}{n_1 N} = \frac{10^8 \times 117}{26 \times 300} = 1500000 = 15 \times 10^5.$$

Die Fig. 2, 3 und 4 der Tafel 3 zeigen eine für diese Maschine passende Anordnung zur Stromabnahme mittels Kollektor und Bürsten. Die dabei eingezeichneten Maasse sind eventuell zu ändern, wenn ein bestimmtes Modell gebaut werden soll.

Der **Elektromagnet** kann aus Flusseisen oder aus Gusseisen hergestellt werden. Bei gleichen Abmessungen wird man zu Flusseisen weniger Ampèrewindungen brauchen, als bei der Verwendung von Gusseisen.

Die äusseren Maasse des Eisengerüstes sind aus der Skizze Fig. 1 zu ersehen. Mit rotem Unterdruck ist auch der Querschnitt des von der Wickelungs-Spule umgebenen Eisenkernes in natürlicher Grösse angedeutet.

Demnach ist dieser Querschnitt

$$Q_3 = 120 \times 150 = 180 \ qcm$$

und dürfen wir annehmen, dass diese Ziffer gleichmässig für die ganze Länge

$$L_3 = 120 + 200 + 160 + 200 + 120 = 80 \ cm \text{ gilt.}$$

Das Gewicht dieses Gerüstes $G = 160$ *kg*.

Der Kraftlinienweg hat nun folgende Abmessungen:

Q_1 (Anker) $= 96 (= 48 \times 2)$ *qcm*	$L_1 = 24$ *cm*
Q_2 (Luft) $= 350$ *qcm*	$L_2 = 2 \times 0{,}25$ *cm* (1,7 + 0,8 *mm*)
Q_3 (Magnet) $= 180$ »	$L_3 = 80$ *cm*

$B_1 = \sim 15600$
$B_2 = \sim 4300$
$B_3 = \sim 8300$
(Siehe Anhang Tabelle No. 3.)

Dieses B_3 passt sehr gut für Gusseisen; verwendet man aber Flusseisen, so ist es angezeigt, mit höherer Sättigung zu arbeiten. Bleibt man jedoch auch in letzterem Fall bei diesem Wert, so erspart man an Ampèrewindungen und somit an Kosten für Kupfer und Erregerstrom. Es ist natürlich immer von der Permeabilität bezw. vom Widerstande des Materiales im Eisengestelle abhängig, ob bei den A.W. gespart werden kann. Nun ist aber die Permeabilität (die Durchlässigkeit für Kraftlinien) selbst bei zwei Stücken derselben Form und vom selben Guss selten vollkommen gleich. In dieser Beziehung wird man bei Aufstellung einer Konstruktion nie dauernd geltende Normalien bestimmen können; man wird immer etwas experimentieren müssen. Bei Nebenschlussmaschinen und separat erregten Maschinen ist letzteres leicht; denn mittels des Regulierwiderstandes kann da so viel als nötig nachgeholfen werden, ohne die Höhe des Wirkungsgrades allzusehr zu beeinflussen.

Die Tafel 2 zeigt die Diagramme: Ampèrewindungen zu Kraftlinienzahlen. Bei deren Anwendung muss allerdings berücksichtigt werden, dass sich die Kurven nur auf ganz bestimmte Materialsorten beziehen; immerhin werden die Angaben dieses Diagrammes bei Vorausberechnungen und Kontrollen von Dynamos gute Dienste leisten, falls man von der zeitraubenden Arbeit der Aufstellung besonderer Kurven absehen will.

Dasselbe gilt von der Tabelle Seite 16 und von den Diagrammen auf den Tafeln No. 23, 24 und 25.

Wir wollen uns im vorliegenden Falle nach den Diagrammen der Tafel 2 richten und finden, dass an Ampèrewindungen ungefähr nötig sind:

für den Anker	24	*cm* × 40 =	960
» » Luftraum	0,5	» × 3500 =	1750
» » Magneten	80	» × 40 =	3200
		Summe:	5910.

Die Streuung ist dabei schon berücksichtigt und wir vermehren diese Summe nur um 330 A.W. zur Aufhebung der Ankerrückwirkung, sodass wir zur Erzeugung des oben erwähnten Kraftstromes im ganzen

$$5910 + 330 = 6240 \text{ A.W.}$$

benötigen. (Der Autor hat diese Ziffer vielfach praktisch kontrolliert und als richtig befunden.)

Das Verhältnis der Ampèrewindungen des Ankers zu den Ampèrewindungen des Magneten stellt sich nun wie:

$$300 \times 10{,}4 : 7800 \times 0{,}8 = 3120 : 6240 = 1 : 2.$$

Die Draht- und Stromverhältnisse im Nebenschluss gestalten sich wie folgt: Rechnen wir, dass eine Windung im Mittel

$$12 + 15 + 12 + 15 = 54 = \sim 60 \; cm$$

lang ist und dass 7800 Windungen (siehe den Wert für J_2) aufgebracht sind, so ist der Draht im Nebenschluss

$$60 \times 7800 = 4680 \; m \text{ lang.}$$

Verwendet wird ein Draht, der blank 0,9 *mm* und umsponnen 1,2 *mm* dick ist. Ein solcher Draht hat laut Tabelle No. 3 (im Anhang) pro 100 *m* 2,632 Ohm Widerstand und es ist daher der Gesamtwiderstand im Nebenschluss

$$R_2 = 2{,}632 \times 46{,}8 = 123 \text{ Ohm.}$$

Nun soll aber R_2 einen Wert haben $= n_1 \frac{e}{i} = \frac{26 \times 110}{20} = 143$ Ohm, was mittels des Regulierwiderstandes leicht erreicht werden kann. Infolgedessen ist die Stromstärke im Nebenschluss

$$J_2 = \frac{e}{R_2} = \frac{110}{143} = \sim 0{,}8 \text{ Ampère.}$$

Jede Spule erhält $\frac{7800}{2} = 3900$ Windungen und es empfiehlt sich eine Wickelung, dass

162 Windungen nebeneinander,
24 » übereinander liegen.

Die Stromstärke im Anker

$$J_1 = J_2 + i = 0{,}8 + 20 = 20{,}8 \text{ Ampère}$$

und die im Anker wirksame elektromotorische Kraft

$$E = e + J_1 \times R_1 = 110 + 20{,}8 \times 0{,}353 = 117{,}342 \text{ Volt.}$$

Wir setzen zur Kontrolle:

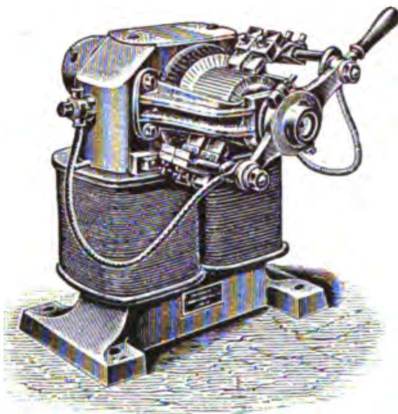
$$E = \frac{\Phi N n}{10^8 \times 60} = \frac{(15 \times 10^5) \times 300 \times 1550}{10^8 \times 60} = 116{,}2 \text{ Volt.}$$

Die vorstehende Berechnung zeigt demnach weniger eine Vorausberechnung als die Kontrolle einer schon ausgeführten Maschine (eines Modells), dessen Abmessungen ganz genau bekannt sind. Eine solche Aufstellung ist nötig, wenn man beabsichtigt, weitere solche Maschinen-Typen für andere Leistungen oder für Zwecke zu bauen, die andere Details erfordern.

Die Fig. 5, 6, 7 zeigen uns eine moderne zweipolige Gleichstrommaschine mit stehenden Elektromagneten nach einer Ausführung von Kremenezky, Mayer & Co. in Wien. Die beiden umstehenden Tabellen geben dazu die verschiedenen Abmessungen und die damit erzielbaren Leistungen an.

Type	A	B	C	D	E	F	G	H	I	K	L	M	N	O	P
K_1	250	195	95	140	110	549	336	295	360	280	480	40	380	115	647
K_2	305	220	105	150	120	645	369	330	405	315	615	60	455	180	750
K_3	345	240	125	180	130	710	450	360	450	350	615	60	455	180	835

					Kupfergewicht			Stromdichte		Effektiv übertrag. Arbeit in P. S.
Type	Leistung Watt	Volt	Touren-zahl pro Min.	Total-Gewicht in *kg*	Anker	Magnete	Gesamt-pro Watt	Anker	Magnete	
K_1	1120	65 110	1500	160	2,8	14,7	0,0156	3,27	1,8	1,5
K_2	2250	65 110	1300	225	5,0	21,45	0,0117	3,27	1,8	2,5
K_3	3350	65 110	1100	305	7,5	26,0	0,01	3,3	1,8	3,75


Fig. 23.

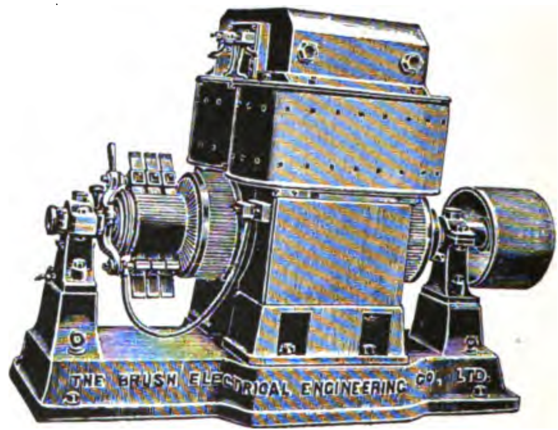


Fig. 24.

Zweipolige Dynamomaschinen (Modell S und NS) der Allgemeinen Elektricitäts-Gesellschaft. (Fig. 23.)

Modell-Bezeichnung	Elektr. Leistung	Stromstärke in Ampère bei			Arbeits-ver-brauch	Touren-zahl in 1 Min.	Gewicht
	ca. Watt	65 Volt	110 Volt	220 Volt	ca. P. S.	ca.	*kg*
S 20	2 200	34	20	10	3,8	1 550	250
» 30	3 300	50	30	15	5,5	1 350	300
» 50	5 500	85	50	25	9,0	1 100	435
» 100	8 800	135	80	40	14,0	1 075	710
NS 20	2 860	—	26	13	5,0	1 700	245
» 30	5 500	—	50	25	9,0	1 550	280
» 50	7 000	—	64	32	11,0	1 480	590
» 100	10 500	—	95	48	17,5	1 360	655

Sollen die Maschinen auch zum Laden von Akkumulatoren benutzt werden, so wird deren Wickelung so bemessen, dass bei entsprechend gesteigerter Tourenzahl die Klemmenspannung, ohne Schaden für die Maschine, dauernd auf einem bis zu 40% höheren Betrage erhalten werden kann, also auf 90 Volt bei einer Normalspannung von 65 Volt, auf 150 Volt bei der 110 Volt-Maschine. Die Maschinen Modell S und NS werden auch für 440 Volt gebaut.

Die Fig. 24 zeigt eine in England gebaute Type zweipoliger offener Dynamos.

Tafel 4.

Geschlossene zweipolige Nebenschluss-Dynamo.

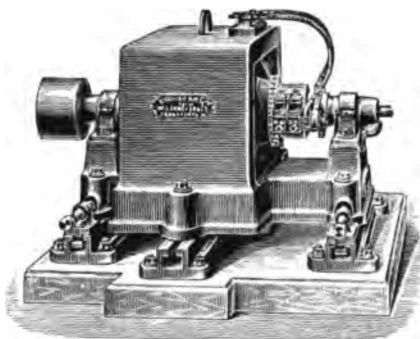


Fig. 25.

$$e = 110\ V; \quad i = 60\ A;$$

$$ei = 6600\ \text{Watt}; \quad n = 1270; \quad \text{Kraftverbrauch} \sim 10{,}5\ \text{P.S.}; \quad \eta = 0{,}889.$$

Da es sich auch in diesem Falle um Durchschnittsangaben aus einer grösseren Zahl von Messresultaten handelt, wollen wir ohne weiteres über ein Normal-Modell die bezüglichen Grössen, mit welchen die im obigen Titel aufgezählten Leistungen erzielt werden können, anführen:

$E = 110 + 0{,}07 \times 61{,}8 = 114{,}326\ V$	$J_1 = 61{,}8\ A$	$R_1 = 0{,}07\ \Omega$	$n = 1270$
$e = 110\ V$	$J_2 = 1{,}8$ »	$R_2 = 62$ »	$n_1 = \frac{1270}{60} = 21$
	$i = 60{,}0$ »	$r = 1{,}83$ »	

Der Anker. Es wird ein gezahnter Trommelanker verwendet, dessen Querschnitts-Skizze mit rotem Unterdruck auf Tafel 4 in natürlicher Grösse angedeutet ist. Wir ersehen daraus, dass

$$r_a = 100\ mm$$
$$r_i = 34\ \text{»}$$

Der Anker hat 48 Zähne; die Zahnluken sind an der äusseren Peripherie 4 *mm*, an der Zahnwurzel 5 *mm* weit. Er wird aus 516 lackierten, 0,5 *mm* dicken Eisenscheiben gebildet und wiegt jede derselben 130 *g*, sodass das Eisengewicht des Ankers $= 130 \times 516 = 67$ *kg*.

Zur Wickelung sind 120 *m* Kupferdraht verwendet, dessen

$$d = 3\ mm \text{ blank}$$
$$d_1 = 3{,}5 \text{ » umsponnen.}$$

Demnach ist der Anker-Widerstand $R_1 = \frac{0{,}02 \frac{120}{7{,}09}}{4} = 0{,}0845\ \Omega$.

Die Drahtbeanspruchung ist $\frac{30{,}9}{7} = \sim 4{,}4$ A.

Wir zählen 48 Spulen à 4 Windungen und es sind daher $48 \times 4 = 192$ Drähte, am Umfang gezählt, in Rechnung zu stellen.

Wir können nun setzen:

$$\Phi = \frac{10^8 E}{n_1 N} = \frac{10^8 \times 114{,}326}{21 \times 192} = \sim 2860000.$$

Das Kupferdrahtgewicht $= 7{,}548$ *kg*.
Die Länge des Ankers $l_a = 310$ *mm*.

Der Elektromagnet bezw. das Eisengerüste ist aus Gusseisen angefertigt und sind die äusseren Maasse aus der Skizze (Tafel 4) zu ersehen.

Der magnetische Kraftstrom hat nun folgende Abmessungen:

$Q_1 = 300$ *qcm*	$L_1 = 25$ *cm*	$B_1 = \sim 9000$
$Q_2 = 540$ »	$L_2 = 2 \times 2$ *mm*	$B_2 = \sim 5300$
$Q_3 = 420$ »	$L_3 = 100$ *cm*	$B_3 = \sim 7200$

Zur Ermittelung der zu dieser Erregung nötigen Ampère-Windungen bedienen wir uns der Diagramme auf Tafel 2 und erhalten

für den Anker	$25 \times 4 =$	100
» » Luftraum		4000 (mit Rücksicht auf die Zahnung)
» » Magneten	$100 \times 28 =$	2800
		6900.

Die Streuung ist dabei schon berücksichtigt und da die Ankerrückwirkung nicht gering sein wird, müssen zu deren Ausgleichung 1100 A. W. aufgebracht werden, sodass im ganzen $6909 + 1100 = 8000$ A.W. nötig sind.

Verwendet wird ein Kupferdraht, dessen

$d = 1{,}3$ *mm* blank
$d_1 = 1{,}7$ » umsponnen.

Wir nehmen an, dass wir $J_2 = 2$ Ampère setzen dürfen und brauchen daher $\frac{8000}{2} = 4000$ Windungen, sodass auf jede Spule 2000 Windungen aufzubringen sind, die je nach der Länge der Spule verteilt werden können (z. B. 40 neben-, 50 übereinander).

Die Konstruktion zeigt, dass auf jeder Spule 2400 *m* aufgewickelt wurden und wir erhalten demnach:

$$R_2 = 2 \times 30{,}72 = 61{,}44 \ \Omega.$$

Dieser Draht hat ein Kupfergewicht von 56,6 *kg*.[1])

---

[1]) Wir haben in der Zeichnung Polschuhe angedeutet: Es sind da mehrere Fälle möglich: Am besten sind die der A. E. G. patentierten Polbuchsen; kann oder will man diese nicht verwenden, muss man Polschuhe anbringen, wenn man die Eisenkerne nicht übermässig stark und damit die Maschine allzu gross und schwer machen will. Bedingung ist, dass der Centripolspitzenwinkel möglichst klein sei, damit die Ankerreaktion nicht gross wird.

Die Firma »Elektrizitäts-Aktien-Gesellschaft vorm. W. Lahmeyer & Co.« baut solche Maschinen (Fig. 25) in nachstehend verzeichneten Abmesungen:

Modell	Leistung in Watt	Stromstärke bei			Arbeitsverbrauch in P.S.	n =	Gewicht in *kg*
		65 Volt	110 Volt	220 Volt			
A 0	1600	25 A	15 A	7,5 A	2,8	1700	260
I	3300	50	30	15	5,5	1500	370
II	5000	75	45	23	8,0	1400	600
III	6600	100	60	30	10,5	1300	730
IV	8200	130	75	38	13,0	1250	950
V	11000	170	100	50	17,0	1200	1150

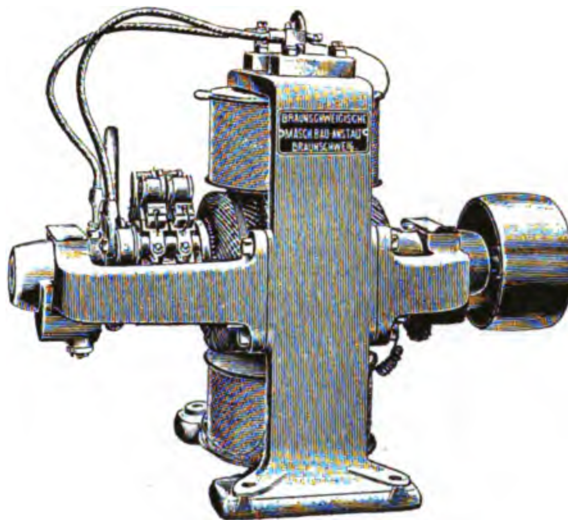


Fig. 26.

Tafel 5.

Offene zweipolige Nebenschlussmaschine

Type Siemens & Halske LH.

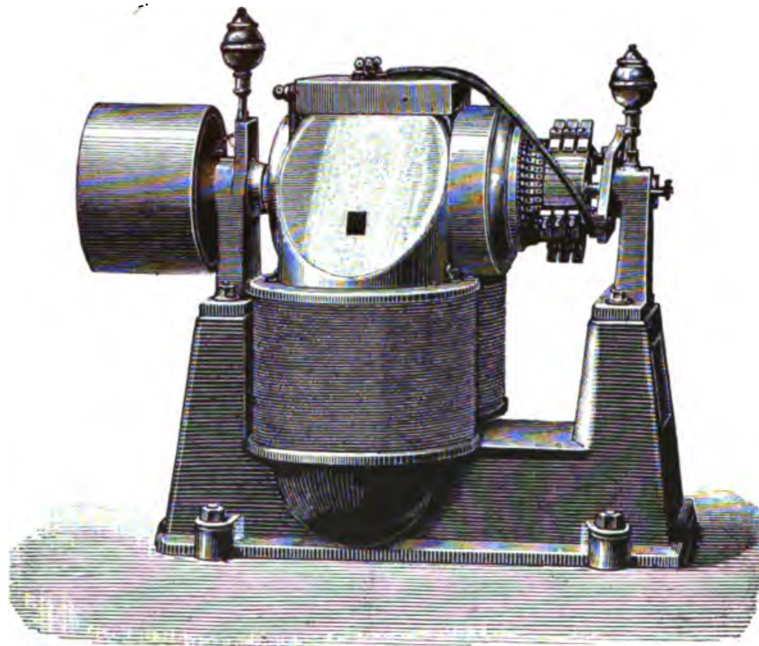


Fig. 27.

$e = 110$ V; $i = 273$ A;

$ei = 30030$ Watt; $n = 710$; Kraftverbrauch = ~ 50 P.S.

Der Anker besteht aus 0,8 *mm* starken Eisenblechscheiben, die mittels Papierscheiben voneinander isoliert sind.

Ankerlänge	350	*mm*	
Ankerdurchmesser	350	»	
Ankerhöhe mit Nuten	90	»	
Nutenzahl	40	»	
Nut, rechteckig	12 × 20	»	mit Isolierung
	14 × 22	»	ohne »
Zahn, unten	10	»	
» oben	13	»	
Leiterzahl	160	»	
Drahtquerschnitt, rechteckig	5 × 4	blank	je zwei Drähte parallel.
	6 × 5	umsponnen	

Die Länge einer Windung rechnet man bei Quadrat-Trommeln gleich dem fünffachen des Durchmessers; das ergiebt für den Ankerdraht eine Länge $L = 5 \times 35 \times 80 = 140\ m$

und es wird $q = 2 \times 5 \times 4 = 40\ qmm.$

Es ist also die Drahtbelastung $= \frac{280}{40} = 7$ A pro 1 *qmm.*

$$R_1 = \frac{\frac{140}{\frac{50 \times 40}{4}}} = 0{,}0175\ \Omega.$$

Der Spannungsverlust im Anker $(J_1 + J_2)\, R_1 = 280 \times 0{,}0175 = 4{,}9 \sim 5$ Volt. J_2 wird nämlich, wie wir später finden werden $= \sim 7$ A.

Der Energieverlust im Anker $= J^2 R_1 = 280^2 \times 0{,}0175 = 1370$ Watt.

Die Ankeroberfläche hat ca. 6000 *qcm*, sodass pro 1 Watt zur Abkühlung $\frac{6000}{1370} = \sim 4{,}4$ *qcm* vorhanden sind.

Nach Vorstehendem wird $E = 110 + 5 = 115$ Volt. Der dazu nötige Kraftfluss entspricht folgender Berechnung: Der Eisenquerschnitt des Ankers, abzüglich der Zähne ist

$$Q_1 = 2 \times 35\ (9 - 2{,}2)\ 0{,}9 = \sim 430\ qcm.$$

Mittels des Faktors 0,9 berücksichtigen wir die Isolation zwischen den Eisenblechscheiben. Da letztere auch mit Messingbolzen zusammengehalten werden, verringert sich der Eisenquerschnitt noch weiter und wir setzen endgiltig

$$Q_1 = 420\ qcm.$$

Bekanntlich ist

$$E = \frac{B_1\, Q_1\, n\, N}{10^8 \times 60} = \frac{B_1 \times 420 \times 710 \times 160}{10^8 \times 60} = 115\ V$$

und daraus rechnen wir, dass $B_1 = 14500.$

Das ist hoch, aber zulässig; umsomehr, da bei $\frac{J_1}{2}$ und 160 Leitern die Ankerreaktion bedeutend wäre, wenn nicht auch durch hohe Ankerinduktion entgegengewirkt würde.

Der Gesamtkraftfluss

$$\Phi = 14500 \times 420 = 6090000 \text{ Einheiten.}$$

Um diese zu erzeugen, sind auf den Spulen 1632 Windungen aufgebracht, die mit $8{,}15\ A = J_2$ beschickt werden; also

$$A.W. = 1632 \times 8{,}15 = 13300.$$

Wir können annehmen, dass sich diese auf folgende Summanden verteilen:

				pro 1 *cm*	
Anker	$Q_1 = 420$;	$L_1 = 36\ cm$;	$B_1 = 14500$;	$aw_1 = 23$;	$AW_1 = 828$
Zähne	$Q_z = 467$;	$L_z = 4{,}4\ cm$;	$B_z = 13000$;	$aw_z = 10$;	$AW_z = 44$
Luft	$Q_2 = 1000$;	$L_2 = 0{,}6$ » ;	$B_2 = 6090$;	$aw_2 = 5000$;	$AW_2 = 3000$
Polschuh	$Q_p = 645$;	$L_p = 44 = (2 \times 22)$;	$B_p = 9400$;	$aw_p = 64$;	$AW_p = 2816$
Eisenkerne	$Q_3 = 1256$;	$L_3 = 2 \times 35{,}3$;	$B_3 = 4850$;	$aw_3 = 10$;	$AW_3 = 706$
Joch	$Q_4 = 1200$;	$L_4 = 80\ cm$;	$B_4 = 5000$;	$aw_4 = 10$;	$AW_4 = 800$
					$\Sigma AW = 8200$

Da in den Diagrammen Tafel 2, die Grenzwerte für verschiedene Materiale verzeichnet sind und dabei nur eine Streuung von ungefähr $\nu = 1,4$ mit eingerechnet ist, müssen wir, weil diese Maschine stark streut, noch weitere 0,2 Streuung dazurechnen und erhalten:

$$8200 \times 1,2 = 9840 \text{ A.W.}$$

Hierzu wird bemerkt:

Die Zähne sind oben 13 *mm*, unten 10 *mm*, daher im Mittel 11,5 *mm* breit. Die im Polbogen von 116° liegenden Zähne haben also einen Querschnitt $Q_z = 1,15 \times 35 \times 0,9 \times 40 \times \frac{116^0}{360} = 467$ *qcm*.

Dabei wird $B_z = \frac{6\,090\,000}{467} = 13\,000$. Die Weglänge für den Kraftfluss $L_z = 2 \times 2,2 = 4,4$ *cm*.

Die Grösse des Luftraums ist in diesem Falle, wo sich zwei Cylinder durchsetzen, am einfachsten zeichnerisch zu ermitteln; man erhält ca. $Q_8 = 1000$ *qcm* und es wird $B_8 = \frac{6\,090\,000}{1000} = 6090$. Die Weglänge $L_8 = 2 \times 0,3 = 0,6$ *cm*.

Beim Polschuh dürfen wir hier den $Q_p = 645$ *qcm* ansetzen. Dabei ist angenommen, dass der Kraftstrom im Anker vollkommen symmetrisch verläuft, was bekanntlich wegen der Ankerrückwirkung nicht möglich ist. Wir könnten hier den Querschnitt etwas höher ansetzen, dann erhielten wir eine geringere Sättigungsziffer und brauchten weniger A.W., so ergiebt sich aber der Wert für $B_p = \frac{6\,090\,000}{645} = 9400$ und die dazu nötigen $\text{A.W.}_{\cdot p} = 2816$.

Bezüglich Eisenkern und Joch ist nichts weiter zu erwähnen; die angesetzten Werte entsprechen den Maassen in der Zeichnung und den Diagrammen auf Tafel 2.

Die Ankerrückwirkung erfordert

$$\frac{160^0}{360} \times 64^0 \times \frac{280}{2} = \sim 4000 \text{ A.W.}_{\cdot R}$$

sodass auf den Elektromagneten im ganzen

$\Sigma \text{A.W.} = 9840 + 4000 = 13\,840$ aufgebracht sein sollten.

Wegen des Plus von 540 A.W. wird auf die vorstehende Bemerkung bezüglich der Polschuhe verwiesen.

$$\text{Da } J_8 = 8,15, \text{ ist } R_8 = \frac{110}{8,15} = 13,5\ \Omega.$$

Dies würde im Nebenschluss einen Draht von

2 *mm* Durchmesser blank

2,4 » » umsponnen entsprechen und es ist thatsächlich ein solcher Draht in 840 Windungen pro Spule aufgewickelt (140 neben-, 6 übereinander).

Die übrigen Daten bezl. dieses Drahtes sind aus der Hauptzusammenstellung und aus der Tabelle No. 6 (im Anhang) zu ersehen.

Nehmen wir an, diese Dynamo habe bei stark schwankender Belastung zu arbeiten, oder die Betriebs-Dampfmaschine habe auch noch Werkzeugmaschinen zu betreiben, welche die Kraft rasch wechselnd in Anspruch

nehmen, oder die Betriebsmaschine liefere überhaupt keine gleichbleibende Tourenzahl, oder sie arbeitet mit einem mangelhaften Regulator, dann ist es ratsam, die Dynamo mit einer Schwungscheibe auszustatten.

Für diese wählen wir die Umfangsgeschwindigkeit v = 30 (lim. 30 bis 40). Dann wird der Durchmesser

$$D = \frac{60\,v}{\pi n} = \frac{60 \times 30}{3{,}14 \times 710} = 0{,}80\ m = 800\ mm.$$

Das Gewicht der Schwungscheibe muss, wenn Schmiedeeisen verwendet wird, gleich sein

$$G = \frac{C\,c\,(P.S.)}{v^2 n} = \frac{10000 \times 200 \times 50}{30^2 \times 710} = \sim 156\ kg.$$

C ist ein Erfahrungskoëffizient und es ist

für Schmiedeeisen C = 10000
» Gusseisen C = 12000

c ist der Gleichförmigkeitskoëffizient und zwar = 200 bis 240.

Wenn nun R der äussere Radius der Schwungscheibe $= \frac{800}{2} = 400\ mm$
r_m » mittlere » » » = 365 *mm*
R — r die Höhe des Schwungringes . . . = 70 »
r der innere Radius . . . . = R — 70 = 330 *mm*
b die achsiale Breite des Schwungringes
s das spezifische Gew. des Schmiedeeisens = 7,79 *mm*
k die zulässige Spannung (für Schmiedeeisen k = 750)

dann ist

$G = (R^2 - r^2)\,b\,s\,\pi$ und daraus

$$b = \frac{G}{\pi\,(R^2 - r^2)\,s} = \frac{156}{3{,}14 \times (4{,}0^2 - 3{,}3^2) \times 7{,}79} = \sim 1{,}25\ dcm = 125\ mm.$$

Die Centrifugalkraft $K = \frac{\frac{G}{2} v^2}{g\,r_m} = \frac{\frac{156}{2} \times 30^2}{9{,}8 \times 0{,}365} = \sim 20000\ kg$

und für diese ist ein Ringquerschnitt von

$$Q = \frac{K}{k} = \frac{20000}{750} = 26{,}6\ qcm$$

erforderlich, sodass also 3,3fache Sicherheit geboten ist.

Dabei muss ein breiter glatter Riemen verwendet werden; denn das Regelmässigbleiben der Tourenzahlen ist nur bei ausreichender Möglichkeit des Riemengleitens zu erwarten.

Anhang zur Tafel 5.

Berechnung einer offenen zweipoligen Dynamo-Gleichstrommaschine; Kapp-Type; Trommelanker mit Nuten.

$e = 105$ V; $i = 370$ A;

$ei = 39000$ Watt; $n = 350$; Kraftverbrauch $= \sim 56$ P.S.

Diese Maschine ist etwas ungewöhnlich; denn es hat sich die Norm ausgebildet für grössere Maschinen mehrpolige Modelle zu verwenden und zwar baut man
zweipolige bis 18 P.S.
vierpolige » 80 P.S.
sechspolige » 120 P.S. u. s. f.

Das nachstehend berechnete Beispiel weicht von dieser Norm ab und es soll zeigen, dass es immerhin möglich ist, auch ausser der Norm Maschinen mit zufriedenstellender Leistung und gutem Wirkungsgrad zu bauen. Bei dieser Berechnung wollen wir die von Kapp empfohlene Methode anwenden:

Die Leistung $P = CD^2 L n 10^{-6}$ Kilowatt;

wenn
D Durchmesser des Ankers $= 45$ *cm*
L Länge des Ankers $= 55$ » und
C eine Konstante, hier $= 1$ (siehe Kapps Werke),

so ist $P = 1 \times 45^2 \times 55 \times 350 \times 10^{-6} = \sim 39$ Kilowatt

und $i = \frac{39000}{105} = 370$ Ampère.

Wenn der Spannungsabfall im Anker $= 5$ Volt, ist

$$E = 105 + 5 = 110 \text{ Volt};$$

und wenn $J_2 = 0{,}03 \times 370$, ist $J_1 = \sim 380$ Ampère

und nun wird $\Phi = \frac{E \times 60 \times 10^8}{p n N}$

Geben wir nach Erfahrungsziffern dem Anker 57 Nuten und legen wir in jede Nute zwei Drähte, dann wird

$$N = 2 \times 57 = 114$$

und es wird $\Phi = \frac{110 \times 60 \times 10^8}{1 \times 350 \times 114} = 16{,}5 \times 10^6$, (wobei p = Polpaare = 1).

Der Anker wird aus lackierten Eisenscheiben aufgebaut und erhält folgende Abmessungen:
$D = 45$ *cm*
$L = 55$ »
Nutentiefe $= 20$ *mm*
Nutenbreite $= 11$ »

Umfang des Ankers $= 410\pi = 1288$ *mm* (an der Zahnwurzel)

Teilung $\frac{1288}{57} = 22{,}597$

Fleischstärke $= \sim 11{,}597$.

Der Draht wird mit ca. 2,4 A pro 1 *qmm* beansprucht. Die Stromstärke $= \frac{380}{2} = 190$ A, wir brauchen daher einen

Drahtquerschnitt $q = 80$ *qmm* blank

und wählen einen Kantdraht von $^{8}/_{10}$ *mm*, was die Verwendung eines oder besser zweier Hilfskollektoren bedingt.

Die Polschuhe werden je 0,3 des Trommelumfanges umspannen; das sind $450 \times \pi \times 0{,}3 = 424{,}11$ *mm*; es werden also

$$424{,}11 : 22{,}597 = \sim 19 \text{ Teile bezw. Zähne}$$

vom Kraftfluss direkt berührt.

Wenn die Eisenlänge $= \sim 480$ *mm*, so wird

$$Q_1 = 19 \times 1{,}1597 \times 48 = 1057{,}6 \; qcm$$

und es ist an der Zahnwurzel

$$B_z = \frac{16{,}5 \times 10^6}{1057{,}6} = 15\,600;$$

die Anker-Ampère-Windungen unter den Polen:

$$J_1 N = 38 \times 190 = 7220.$$

Die Breite des Luftquerschnittes $= 20$ *mm*;

die Länge des Luftraumes $47 \pi \times 0{,}3 + 20 = 46{,}274$ *cm*

dann ist $$Q_2 = 46{,}274 \times 55 = 2544{,}85 \; qcm$$

und $$B_2 = \frac{16{,}5 \times 10^6}{2545} = 6484.$$

Um diese zu erzeugen, sind am Feldmagnet

$$1{,}6 \times 2 \times 6484 = 20748 \text{ A.W. erforderlich.}$$

Als Bedingung gilt, dass

$$B_1 = 6484 \, \frac{20\,748 - 7220}{20\,748} = 4227 \geqq 2000$$

damit ein funkenloser Gang der Maschine gewährleistet ist. Zur Erzeugung des Kraftflusses im Anker sind

$$60 \times 5 = 300 \text{ A.W. nötig;}$$

denn $$Q_1 = \frac{(450 - 40 - 140) \times 480}{100} = 1296 \; qcm$$

$$B_1 = \frac{16{,}5 \times 10^6}{1296} = 12\,000$$

$$L_1 = \frac{27{,}5 \, \pi}{2} = 60 \; cm.$$

Die Streuung wird hier auf folgende Art berechnet:

$$\text{Die Streuung} = \frac{\text{A.W. für den Anker} + \text{A.W. für den Feldmagneten}}{\varrho}$$

$$= \frac{300 + 20\,748}{0{,}00\,624} = 3\,373\,077$$

$$\sim 3373100$$

Dabei ist $$\varrho = \frac{\varrho'}{\sqrt{\frac{D\,L}{p}}} = \frac{0{,}29}{\sqrt{\frac{45 \times 48}{1}}} = 0{,}00\,624$$

(ϱ' ist der Formfaktor [siehe Kapps Werke] und hat für diese Maschine den Wert $= 0{,}29$).

Folglich ist nun:

$$\Sigma \Phi = 16\,500\,000 + 3\,373\,100 = 19\,873\,100.$$

Wenn $B_8 = 15000$, so muss

$$Q_8 = \frac{\Sigma \Phi}{15\,000} = 1321 \; qcm \text{ sein.}$$

Da $$L_8 = 200 \; cm$$

wird $J_2 N = 30 \times 200 = 6000$ A. W.

und daher sind zusammen

$$\begin{array}{r} 300 \\ 20748 \\ 6000 \\ \hline \sim 27000 \end{array}$$ A.W. nötig.

Da wir $J_2 = 10$ A gesetzt haben,

brauchen wir $\frac{27000}{10} = 2700$ Windungen im ganzen

und $\frac{2700}{2} = 1350$ » pro Spule.

Der mittlere Durchmesser einer Windung $= 1850$ *mm*;
die Länge des Drahtes daher $= 4995 \sim 5000$ *m*;

dieser Draht soll $\frac{105}{10} = \sim 10$ Ohm haben, wir setzen

$$q = 10 \; qmm;$$

dem entspricht ein Draht, dessen $d = 3{,}6$ *mm* blank
$d_1 = 4{,}3$ » besponnen.

Wir wickeln denselben in 16 Lagen nebeneinander
85 Windungen pro Lage.

Die Erwärmung des Feldmagneten

$$t^0 = \frac{300}{O}$$

wenn

$$O = \frac{\text{Oberfläche in } qcm}{\text{Wattverlust}} = \frac{38000}{1050} = \sim 36;$$

also

$$t^0 = \frac{300}{36} = 8{,}4^0.$$

Wir können nun eine allgemeine Skizze der Maschine nach vorstehenden Maassen zeichnen und bestimmen dazu noch folgende Werte:

die Länge eines Ankerstabes . . . . $= 760$ *mm*
die Gesamtlänge der Kupferleitung im Anker . $= 136$ *m*
der Widerstand an den Bürsten gemessen . . $= 0{,}0084\ \Omega$
demnach der Spannungsabfall . . . . $= 3{,}20$ Volt
der Energieverlust . . . . $= 1212$ Watt
der Hysteresisverlust pro 1 *kg* Eisen im Anker $= 0{,}70$ »
das Gesamt-Eisengewicht des Ankers . . . . $= 490$ *kg*
der Gesamt-Hysteresisverlust im Anker . . . $= 350$ Watt
daher Gesamt-Wattverlust im Anker . . . . $= 1562$ »
demnach der Gesamt-Spannungsverlust im Anker $= 4{,}1$ Volt.

Bezüglich dieser Maschine bringen wir schliesslich noch die nachstehenden interessanten Tabellen:

I. Änderungen der Spannung bei gleichbleibender Tourenzahl, aber Verstärkung des Kraftflusses.

Φ	e	Φ	e	Φ	e
8000000	53,2	13000000	86,46	16500000	109,72
9000000	59,85	14000000	93,10	17000000	113,05
10000000	66,5	15000000	99,75	17500000	116,37
11000000	73,5	15500000	103,07		
12000000	79,8	16000000	106,40		

II. Kraftfluss und Ampère-Windungen.

$Q_1 = 1296$ *qcm*; $Q_2 = 2545$ *qcm*; $Q_3 = 1320$ *qcm*;
$L_1 = 60$ *cm*; $L_2 = 2 \times 2$ *cm*; $L_3 = 200$ *cm*.

1. Kraftfluss im Anker, 2. Streuung, 3. Φ	B 1. im Anker, 2. im Luftraum, 3. im Feldmagnet	Ampère-Windungen 1. für Anker, 2. für Luftraum, 3. für Feldmagnet	Ampère-Windungen 1 + 2 3	Gesamt-Ampère-Windungen
8 000 000	6 173	78		
1 624 700	3 134	10 060	10 128	
9 624 700	7 291	420	420	10 558
9 000 000	6 944	81,5		
1 826 900	3 537	11 318	11 400	
10 826 900	8 202	520	520	11 920
10 000 000	7 716	96		
2 030 800	3 930	12 576	12 672	
12 030 800	9 114	620	620	13 292
11 000 000	8 487	105		
2 233 900	4 323	13 834	13 939	
13 233 900	10 026	740	740	14 679
12 000 000	9 259	129		
2 437 700	4 715	15 088	15 217	
14 437 700	10 938	920	920	16 137
13 000 000	10 031	147		
2 643 100	5 108	16 346	16 493	
15 643 100	11 851	1 160	1 160	17 653
14 000 000	10 802	168		
2 848 000	5 501	17 603	17 771	
16 848 000	12 756	1 560	1 560	19 331
15 000 000	11 575	210		
3 056 300	5 894	18 861	19 071	
18 056 300	13 679	2 220	2 220	21 291
15 500 000	11 960	228		
3 056 300	6 091	19 491	19 719	
18 056 300	14 136	2 900	2 900	22 619
16 000 000	12 346	252		
3 264 500	6 287	20 118	20 370	
19 264 500	14 594	3 800	3 800	24 170
16 500 000	12 731	288		
3 371 400	6 484	20 749	21 037	
19 871 400	15 054	6 000	6 000	27 037
17 000 000	13 117	300		
3 474 000	6 680	21 376	21 676	
20 474 000	15 511	9 200	9 200	30 876
17 500 000	13 503	360		
3 576 100	6 877	22 006	22 366	
21 076 100	15 967	12 800	12 800	35 166

III. Ankerwickelungs-Tabelle.

(Sprung auf der Vorderseite + 41; Sprung auf der Rückseite — 39.)

Spannung im Stab	Vorderseite	Spannung im Stab	Rückseite	Spannung im Stab	Vorderseite	Spannung im Stab	Rückseite
1	72 verb. mit 113	2	113 verb. mit 74	34	22 verb. mit 63	33	63 verb. mit 24
2	74 » » 1	3	1 » » 76	33	24 » » 65	32	65 » » 26
3	76 » » 3	4	3 » » 78	32	26 » » 67	31	67 » » 28
4	78 » » 5	5	5 » » 80	31	28 » » 69	30	69 » » 30
5	80 » » 7	6	7 » » 82	29	30 » » 71	28	71 » » 32
6	82 » » 9	7	9 » » 84	27	32 » » 73	26	73 » » 34
7	84 » » 11	8	11 » » 86	25	34 » » 75	24	75 » » 36
8	86 » » 13	9	13 » » 88	23	36 » » 77	22	77 » » 38
10	88 » » 15	11	15 » » 90	21	38 » » 79	20	79 » » 40
12	90 » » 17	13	17 » » 92	19	40 » » 81	18	81 » » 42
14	92 » » 19	15	19 » » 94	17	42 » » 83	16	83 » » 44
16	94 » » 21	17	21 » » 96	15	44 » » 85	14	85 » » 46
18	96 » » 23	19	23 » » 98	13	46 » » 87	12	87 » » 48
20	98 » » 25	21	25 » » 100	11	48 » » 89	10	89 » » 50
22	100 » » 27	23	27 » » 102	9	50 » » 91	8	91 » » 52
24	102 » » 29	25	29 » » 104	7	52 » » 93	7	93 » » 54
26	104 » » 31	27	31 » » 106	6	54 » » 95	6	95 » » 56
28	106 » » 33	29	33 » » 108	5	56 » » 97	5	97 » » 58
30	108 » » 35	30	35 » » 110	4	58 » » 99	4	99 » » 60
31	110 » » 37	31	37 » » 112	3	60 » » 101	3	101 » » 62
32	112 » » 39	32	39 » » 114	2	62 » » 103	2	103 » » 64
33	114 » » 41	33	41 » » 2	1	64 » » 105	1	105 » » 66
34	2 » » 43	34	43 » » 4	0	66 » » 107	0	107 » » 68
35	4 » » 45	35	45 » » 6	0	68 » » 109	0	109 » » 70
36	6 » » 47	36	47 » » 8	0	70 » » 111	1	111 » » 72
37	8 » » 49	37	49 » » 10	1	72 » » 113	2	113 » » 74
38	10 » » 51	38	51 » » 12				
38	12 » » 53	38	53 » » 14				
38	14 » » 55	37	55 » » 16				
37	16 » » 57	36	57 » » 18				
36	18 » » 59	35	59 » » 20				
35	20 » » 61	34	61 » » 22				

Tafel 6 und 7.

Geschlossene zweipolige Nebenschluss-Dynamo.

Lahmeyer-Type; gezahnter Trommelanker.

$e = 240/340$ V; $i = 35/25$ A; $ei = 8400$ Watt; $n = 1200$;
Kraftverbrauch = $\sim$ 13 P.S.

Der Anker. Die Maschine soll zum direkten Betrieb und zum Laden der Akkumulatoren geeignet sein. Infolgedessen wird man sich, um die erhöhte Spannung zu erreichen und doch nicht allzuviel Drähte auf den Anker legen zu müssen, dafür entscheiden, den Eisenkern des Ankers bis an die Welle heranreichen zu lassen, damit der Eisenquerschnitt möglichst gross und gut ausgenutzt wird.

Wir bestimmen zuerst den Durchmesser der Welle

$$d_W = \frac{1}{4}\sqrt[3]{\frac{ei}{n}} = 5\ cm;$$

sodann nach einer Faustformel als erste Annäherung den Ankerdurchmesser

$$d_A = k\sqrt{\frac{ei}{nl}} \times 60 = 4{,}5\sqrt{\frac{8400}{1200 \times d_A}} \times 60$$

woraus $d_A = 21\ cm.$

Die Konstante k hat den Wert 4 bis 5, je nach der Grösse der Trommel. Wir wählen, als besonders praktisch, einen quadratischen Querschnitt der Trommel, sodass die Länge $l = d_A$.

Bei der Bestimmung des für die Bewickelung des Ankers nötigen Kupferdrahtes ist vor allem der Wert des zulässigen Joule'schen Verlustes zu bestimmen, wobei man sowohl die Sicherheit als auch die Wirtschaftlichkeit des Betriebes nicht ausser Acht lassen darf. Erfahrungsgemäss wird der Wirkungsgrad von Maschinen dieser Art noch genügend gross, wenn wir gestatten 3% der nach aussen abgegebenen Energie im Anker zu verlieren; das sind im vorliegenden Fall

$$0{,}03 \times 8400 = 252 \text{ Watt.}$$

Da $J_1 = 35$ A, wird $R_1 = \frac{252}{J_1^2} = 0{,}206$ Ohm und es ist dieser Wert gleich $\frac{1}{4}$ des Widerstandes des ganzen auf dem Anker liegenden Kupferdrahtes.

Der hierbei auftretende Spannungsverlust im Anker ist bei:

35 A	$35 \times 0{,}206 = 7{,}2$ V	$E_1 = 240 + 7{,}2 = 247{,}2$ V
25 »	$25 \times 0{,}206 = 5{,}2$ »	$E_2 = 340 + 5{,}2 = 345{,}2$ »

Wir nehmen den Wert für den Querschnitt des Drahtes aus der Formel

$$4\,R_1 = \frac{l \text{ in } m}{50 \times q \text{ in } qmm}$$

doch ist jetzt vorerst die Länge des Leitungsdrahtes zu ermitteln und dazu müssen wir wissen, wie viele Leiter am Anker zur Erregung der oben bezeichneten elektromotorischen Kraft nötig sind. Wir erfahren dies nach der Formel

$$E = \frac{B_1 Q_1 N n}{60 \times 10^8}.$$

Der Ankerquerschnitt $Q_1 = 21\,(21 - 5) \times 0{,}9 = 302$ *qcm*;

denn die Länge ist gleich 21 *cm*

» Höhe » » 21 » — 5 *cm* Wellendurchmesser

und da die Eisenblechscheiben voneinander isoliert sind, müssen wir dies bei der Ermittelung des hier allein maassgebenden Eisenquerschnittes berücksichtigen, was durch Einführung des Faktors 0,9 geschehen ist.

Wir erhalten nun:

$$B_1 N = \frac{345 \times 60 \times 10^8}{302 \times 1200} = 5{,}72 \times 10^6.$$

Letzteres Produkt bietet dem Konstrukteur folgende Möglichkeiten:

$N =$	572	550	500	475	450
$B_1 =$	10000	10400	11500	12050	12700.

Aus Vorstehendem erhellt, dass man bei grossen N auch grossen Drahtquerschnitt erhält und man wird bei Unterbringung der Drähte in den Nuten, die bei 21 *cm* Ankerdurchmesser recht schmal werden, Schwierigkeiten finden. Soll nämlich die Induktion in den Zähnen möglichst gleich sein der Induktion im Ankervolleisen, so wird z. B.

bei einer Nutenzahl	40	44	46	48	50
die Nutenbreite	4,5	4,1	3,9	3,75	3,57 *mm*,

während der Drahtquerschnitt q bei $N = 450$ ca. 5,45 *qmm* wird.

Wir müssen daher die Zahl der Leiter (N) zu verringern suchen und erreichen das, wenn wir die Quadratseiten des Ankers nicht 21, sondern 25 *cm* lang wählen. Die Grenzen für solche Vergrösserungen sind dadurch gegeben, dass man als höchste Umfangsgeschwindigkeit $v = 25$ *m* als zulässig erachtet.

Mit $d = l = 25$ *cm* wird $Q_1 = 450$ *qcm*; dazu wählen wir einen Polbogen von 140°. Die in diesem Winkel gelegenen Zähne erhalten ungefähr denselben Querschnitt, wie das Ankereisen, und unter diesen Bedingungen wird

bei einer Nutenzahl	50	60	68	76
die Nutenbreite	5,4	4,5	4,0	3,5 *mm*

und die Zahl der Leiter N

bei $B_1 =$	10000	10200	11000	11800	12760
$=$	383	375	350	325	300.

Die Wahl aus vorstehenden Reihen erfolgt nach folgenden Gesichtspunkten:

1. Leiter- und Nutenzahl müssen ohne Rest teilbar sein;
2. die Zahl der Kollektorsegmente muss der Spannung angemessen sein und die Spannung zwischen je zwei Segmenten darf an keiner Stelle zu hoch werden;
3. die Nuten dürfen nicht allzu tief sein.

Diesen Bedingungen ist entsprochen, wenn wir die

Leiterzahl N = 300 Nutenzahl = 60

Windungszahl = 150 Kollektorsegmente = 60 setzen.

Hieraus folgt nach geometrischen Betrachtungen, dass die

Nutenbreite = 4,5 *mm*

Zahnbreite = 8,6 »

und schliesslich der Drahtquerschnitt q = 4,6 *qmm* wird.

Die Nuten werden mit Pressspahn (1 *mm*) ausgekleidet und wir finden dann, dass ein Kant-Draht (siehe die besondere Figur auf Tafel 7)

2 × 2,3 *mm* blank
2,5 × 2,8 » umsponnen

den Anforderungen voll entsprechen wird.

Der Nutenraum (fünf Drähte fassend) wird 4,5 × 16 *mm* (16 = 5 × 2,8 + 2). Die Zähne erhalten einen Kopf von 4 *mm* Höhe und können sich oben verbreitern, um den Übergang des magnetischen Kraftstromes gleichförmiger zu machen und den Ankerdrähten einen Halt gegen die Einwirkungen der Centrifugalkraft zu bieten. Unter diesen Verhältnissen wird nun der Anker einen äusseren Durchmesser = 290 *mm* erhalten.

B_1 soll im Volleisen nur ausnahmsweise mehr als 13000 sein; in den Zähnen ist manchmal eine Grösse von $B_z = 18000$ nicht zu umgehen. Im vorliegenden Falle ist Anker- und Zahninduktion ziffernmässig gleich gehalten und zwar mit 12760.

Die merkliche Erwärmung des Ankers beim Betriebe ganz abzuhalten, ist wohl kaum möglich; man muss aber bei der Konstruktion vorsorgen, dass eine genügende Abkühlungsoberfläche vorhanden ist, eventuell müssen im Ankereisen Luftzugkanäle vorgesehen werden.

Die Oberfläche unseres Ankers ist:

$$29\pi \times 29 + 2\frac{\pi}{4} \times 29 \times 29 = 29^2 \times \frac{3}{2}\pi = 3780 \; qcm.$$

Der Energieverlust = 252 Watt; wir haben daher für 1 Watt 14 *qcm*. Dieser Anker wird sich also nicht wesentlich erwärmen; Luftzugkanäle brauchen wir dabei entschieden nicht, was im Interesse einer günstigen Leiterzahl sehr erwünscht ist.

Zusammenstellung der berechneten Werte:

Äusserer Ankerdurchmesser (mit Zähnen) .	= 290 *mm*
Ankerdurchmesser (ohne Zähne)	= 250 »
Wellendurchmesser	= 50 »
Ankerlänge	= 250 »
Ankerquerschnitt	= 450 *qcm*
Stärke der Blechscheiben	= 0,8 *mm*
Nutenzahl	= 60
Nutenbreite	= 4,5 *mm*
Nutenhöhe	= 16 »
Zahnhöhe	= 20 »
Zahnbreite unten	= 8,6 »
» oben	= 11 »
Isolation der Nutenwand	= 1 »
Drahtzahl pro Nut	= 5 »
Drahtquerschnitt (2 × 2,3) blank	= 4,6 *qmm*
» (2,5 × 2,8) besponnen . .	= 7 »
Drahtlänge	= 400 *m*
Drahtgewicht	= 15 *kg*
Widerstand an den Bürsten R_1	= 0,206 Ω
Ankergewicht	= 100 *kg*
Polbogen	= 140°
Anker-Induktion im Volleisen » in den Zähnen } bei 345 Volt	= 12760
» » » » » 247 »	= 9160.

Das Magnetgestell. Man verwendet dazu fast nur mehr Gussstahl und es wird die Anordnung getroffen, dass dieses Gestell den Anker und die Spulen kastenförmig umschliesst, damit diese empfindlicheren Teile vor mechanischen Beschädigungen geschützt sind und die Streuung auf ein Minimum beschränkt wird.

Wir führen die Berechnung nach der Methode Hopkinsons durch: für einen geschlossenen Eisenring gilt bekanntlich die Formel:

$$J\,N = \frac{\Phi}{Q\mu}\,L\,\frac{10}{4\pi} = 0{,}8\,H\,L$$

worin $J\,N$ die Ampère-Windungszahl auf dem Ring;
Φ der Gesamtkraftfluss im Ring;
Q Querschnitt des Ringes in *qcm*;
μ die zu $\frac{\Phi}{Q}$ gehörige Permeabilität;
L die mittlere Länge des Kraftweges im Ring;
H das zur Erzeugung von $\frac{\Phi}{Q}$ nötige Feld;

(Siehe Diagramm nach Du Bois, Fig. 1, Tafel 23 und Tabelle 2 im Anhang.)

$$\frac{10}{4\pi} = 0{,}8.$$

Wir wenden nun die letztcitierte Formel und das erwähnte Diagramm auf die einzelnen Teile der Kraftfluss-Träger in folgender Weise an:

1. Anker (Volleisen) $B_1 = 12760$
$L_1 = 25$ *cm* $J_2\,N = 170$
$0{,}8\,H = 6{,}8$
2. Anker (Zähne) . $B_z = 12760$
$L_z = 4$ *cm* $J_2\,N = 28$
$0{,}8\,H = 6{,}8$

} Schmiedeeisen

3. Luftraum . . . $L_2 = 2 \times 4\ mm = 0{,}8\ cm$.

Zur Berechnung des Feldes in der Luft müssen wir vorerst über die Grösse des Magneten schlüssig werden; wir nehmen an, dass derselbe mit Rücksicht auf die Ankerabmessungen einen Querschnitt von $280 \times 270 = 756$ *qcm* haben wird.

Dann wird der Luftquerschnitt:

$$Q_2 = \frac{D_2\,\pi}{360} \times 140^0\,(27 + 1{,}6 \times 0{,}4) + 27 \times 1{,}6 \times 0{,}4)$$

$$= 993 + 17 = 1010\ qcm$$

und

$$B_2 = \frac{12760 \times 450}{1010} = 5700$$

wir brauchen daher für die Luft $J_2\,N = 5700 \times 0{,}8 \times 0{,}8 = 3750$ A.W.
und als A.W. zum Ausgleich der Ankerrückwirkung

$$\frac{300}{360^0} \times 40^0 \times \frac{35}{2} = 600 \text{ A.W. bei } 35 \text{ A}$$

und

$$\frac{300}{360^0} \times 40^0 \times \frac{25}{2} = 450 \text{ A.W. bei } 25 \text{ A.}$$

Bis hierher sind also zur Erzeugung von 340 Volt 4400 AW. nötig.

Eine ähnliche Rechnung ergiebt für 240 Volt: Anker 75; Zähne 12; Luft 2630; Gegen A.W. 600, somit 3317 A.W.

Wir wollen annehmen — die Erfahrung giebt hierfür eine berechtigte Grundlage — dass es nötig ist, bei dieser Maschine 5500 A.W. auf den Spulen

aufzubringen und konstruieren vorerst die Spulen, um darnach die Grösse des Magnetgestelles zu bestimmen. Eine Abmessung zu letzterem ist schon oben gegeben worden: der Querschnitt für $Q_2 = 28 \times 27$ *cm*.

Als Isolierschichte zwischen Magneteisen und unterster Drahtlage verwendet man Pressspan, 5 *mm* dick; daher haben wir einen Grundumfang

$$U = 2 \times 29 + 2 \times 28 = 114 \text{ cm}.$$

In den nachstehenden Formeln bedeutet:

l die mittlere Länge einer Windung in *m*;
l und h Länge und Höhe des Wickelraumes;
O die Oberfläche einer Spule in *qcm*;
p den Prozentsatz des in den Spulen verbrauchten Stromes;
N die Gesamtwindungszahl;
R_2 den Widerstand der Erregermultiplikation.

und wir setzen an:

$$\frac{N}{{}^1/_2 R_2} = \frac{A.W.}{e}; \qquad \frac{N}{R_2} = 2 \times \frac{5500}{340} = 2 \times 16{,}2.$$

Wegen Erreichung des für solche Maschinen üblichen Wirkungsgrades sei

$$R_2 = \frac{e}{2 \times 0{,}0\,p \times i} = \frac{340}{2 \times 0{,}0\,p \times 25} = \frac{680}{p}.$$

Wir stellen nun folgende Tabelle auf:

p %	$^1/_2 R_2$ in Ohm	N	$\frac{N}{2}$	J_2
5	136	4410	2205	1,25
4	170	5510	2755	1,00
3	227	7300	3650	0,75

Für unseren Fall passt p = 4 %, demnach $^1/_2\, R_2 = \frac{680}{4} = 170\ \Omega.$

Die Spulenhöhe h zu bestimmen, liegt im Belieben des Konstrukteurs und dann sind die übrigen Abmessungen von selbst gegeben. Es wird angezeigt sein, h möglichst klein zu wählen, um den Weg für den Kraftfluss kurz zu gestalten, damit der Widerstand für letzteren klein wird.

$$l_m = U + \pi h = 114 + \pi h$$

$$\frac{d_n^2}{l_m} = \frac{N}{2 \lambda R_2} \times \frac{4}{\pi} = \frac{5510 \times 4}{2 \times 50 \times 170 \pi} = 0{,}413$$

$$l = \frac{N}{2} \times 0{,}9 \times \overline{1{,}7}^2 \times \frac{d_n^2}{h} = 7160 \times \frac{d_n^2}{h}.$$

Den Faktor 0,9 haben wir hier eingeführt, da die Zahl der in der Höhe h liegenden Drähte $\frac{h}{0{,}9\, d_1}$.

($1{,}7 = \beta$; in der Formel $d_{blank} \times \beta = d_1$ umsponnen).

Wir stellen nun folgende Tabelle auf:

h =	6	7	8	9	10	11	12	*cm*
l_m =	1,328	1,360	1,391	1,423	1,444	1,485	1,520	*m*
d_n^2 =	0,549	0,562	0,575	0,588	0,598	0,614	0,628	*qmm*
l	6,55	5,75	5,15	4,7	4,3	—	—	*cm*
O	2430	2790	—	—	—	—	—	*qcm*

O bezeichnet hier die Fläche aussen und an beiden Seiten der Spule.

Rechnet man pro 1 Watt Verlust $\frac{1}{10}$ Oberfläche, so würde man pro 1 Spule

1700 *qcm* benötigen; in dieser Beziehung werden also die vorstehend bezeichneten Spulen unter allen übrigen Verhältnissen genügen.

Wir wählen übrigens h = 7 *cm*
bei l = 5,7 »

und dabei wird $q_{blank} = 0{,}562$ *qmm*
daher $d_{blank} = 0{,}75$ *mm* und $d_1 = 1{,}27$ *mm* (besponnen).

Es ergiebt dies, dass

$$\frac{57{,}5}{1{,}27} = 45 \text{ Drähte nebeneinander und}$$

$$\frac{70}{0{,}9 \times 1{,}27} = 61 \quad \text{» übereinander gewickelt werden;}$$

$$45 \times 61 = 2750 \text{ Windungen pro Spule.}$$

Der Querschnitt des Wickelraumes = 57 × 70 *mm*
oder besser = 60 × 70 » und
der Durchschnitt durch die Spule . . . = 70 × 80 »

Nun kann das Eisengestell weiter berechnet werden:

$$B_3 = \frac{12760 \times 450}{756} \times 1{,}4 = 10630$$

(1,4 ist der Streuungskoëffizient).

Bei der gewählten Type teilt sich der Kraftfluss in zwei Teile. Verfolgen wir den einen, so finden wir, dass die Weglänge im Magnetkern:

$L_3 = 2 \times 9 = 18$ *cm* beträgt.

Da für Gussstahl $0{,}8\,H = 4{,}1$
so ist $J_3 N = 4{,}1 \times 18 = 75$ A. W.
Der Weg im Joch $L_4 = 80$ *cm* und da der Querschnitt
$5 \times 44 = 220$ *qcm* beträgt,
wird die Induktion

$$B_4 = \frac{12760 \times 450}{440} \times 1{,}1 = 14360$$

(Hier ist 1,1 der Streuungskoëffizient)

0,8 H wird unter diesen Verhältnissen = 13 und wir brauchen für das Joch $13 \times 80 = 1040$ A.W.
Das Magnetgestell erfordert daher zusammen 1115 A. W.

Im ganzen müssen also auf den Spulen 4400 + 1040 = 5515 A.W.; unsere obige Annahme war daher richtig.

Wir haben nun noch einige Werte zu bestimmen und bringen dazu folgende Rechnungsresultate:

Querschnitt der Eisenkerne	756 *qcm*
» des Joches 220 *qcm*; zusammen .	440 »
Länge der Eisenkerne	18 *cm*
» des Joches	80 »
Kupferdrahtdurchmesser, blank	0,75 *mm*
» umsponnen . . .	1,27 »
Kupferdrahtlänge, zusammen	4500 *m*
Drahtlagen, übereinander	61
» nebeneinander	45
Gewicht des Kupferdrahtes	18 *kg*
Widerstand des Kupferdrahtes	340 *Ω*
Stromstärke im Nebenschluss bei 240 Volt	0,65 A
Stromstärke im Nebenschluss » 340 »	1,00 »
Zahl der Windungen, zusammen	5490
» » » pro Spule	2745.

Anhang I zur Tafel 6.

Berechnung einer geschlossenen Nebenschluss-Gleichstrommaschine, Type Lahmeyer, Trommelanker.

$e = 110$ V; $i = 15$ A; $ei = 1650$ Watt; $n = 1800$; $\eta = 0{,}86$.

$$r = \frac{e}{i} = \frac{110}{15} = 7{,}33\ \Omega$$

$$R_2 = r\,\frac{1+\eta}{1-\eta} = 7{,}33 \times \frac{1{,}86}{0{,}14} = 97{,}92\ \Omega$$

$$R_1 = r\,\frac{1-\eta^2}{4\,\eta} = 7{,}33 \times \frac{1-0{,}74}{3{,}44} = 0{,}554\ \Omega$$

$$J_2 = i\,\frac{1-\eta}{1+\eta} = 15 \times \frac{0{,}14}{1{,}86} = 1{,}13\ \text{A}$$

$$J_1 = i + J_2 = 15 + 1{,}13 = 16{,}13\ \text{A}$$

$$E = e\,\frac{1+\eta}{2\,\eta} = 110 \times \frac{1{,}86}{1{,}72} = 118{,}9\ \text{V}.$$

Ankerdurchmesser $a = \frac{u\,60}{\pi\,n} = \frac{11{,}5 \times 60}{3{,}14 \times 1800} = 11\ cm$ $\left(\begin{array}{c}u = \text{Umfangs-}\\ \text{geschwindigkeit.}\end{array}\right)$

Länge des Ankers $b = 1{,}6\,a = 1{,}6 \times 11 = 17{,}6\ cm$

Polhöhe . . . . $c = 0{,}75\,a = 0{,}75 \times 11 = 8{,}25\ cm$

Centriwinkel . . $\sin\frac{\varphi}{2} = \frac{\frac{c}{2}}{m} = \frac{4{,}125}{5{,}7} = 0{,}724$

Polwinkel. . . . $\varphi = 2\,\frac{\varphi}{2} = 2 \times 46 = 92^{0}$.

(Bei 2 *mm* Luftzwischenraum ist der Radius $m = \frac{a}{2} + 2\,mm = 5{,}7\ cm$.)

Man wählt einen Nutenanker mit 50 Nuten, 3 Spulen und 6 Drähten in eine Nut. Die Konstruktion des Ankers entspricht im übrigen jener Bauart, welche in den vorstehenden Beschreibungen wiederholt erläutert worden ist.

Das Elektromagnetgestell sei aus Dynamo-Stahl und werden bei einer Sättigung $= 0{,}7$ mit $B = 13000$ beansprucht.

Nun wird: $\Phi = c\,b\,B\,0{,}7 = 8{,}25 \times 17{,}6 \times 13000 \times 0{,}7 = \sim 132 \times 10^4$.

Die Ankerwindungszahl

$$N = \frac{E \times 60 \times 10^8}{2\,\Phi n} = \frac{118{,}9 \times 60 \times 10^8}{2 \times 132 \times 10^4 \times 1800} = 150$$

und der Querschnitt des Ankerdrahtes

$$q = \frac{l_a\,N\,0{,}02}{4\,R_1} = \frac{0{,}704 \times 150 \times 0{,}02}{4 \times 0{,}554} = 0{,}96\ qmm;$$

daher $d = 1{,}1\ mm$ blank
und $d_1 = 1{,}6$ » besponnen.

Die Länge einer Ankerwindung

$$l_a = 2\,b + 3{,}2\,a = (2 \times 17{,}6) + (3{,}2 \times 11) = 0{,}704\ m.$$

Da die Streuung gering ($\nu = 1{,}1$) ist, wird schliesslich

$$\Phi = 145 \times 10^4.$$

Man begnügt sich in der Praxis häufig damit, nur die Ampère-Windungen für die Luft zu berechnen.

Da $Q_2 = 155$ *qcm* und $L_2 = (2 \times 0{,}2 =)\ 0{,}4$ *cm*, erhalten wir

$$\frac{145 \times 10^4 \times 0{,}8 \times 0{,}4}{155} = 2993 \text{ A.W},$$

und schliesslich wird $B = \dfrac{145 \times 10^4}{8{,}25 \times 17{,}6} = 9990 \sim 10000.$

Die Tabelle Seite 16 verlangt hierfür 3200 A.W. Da unsere Rechnung nur 2993 ergab, wählen wir die erstere Zahl und rechnen noch 200 A.W. zur Überwindung des Eisenwiderstandes ($L_3 = 74$ *cm*) zu; es entfallen daher pro 1 *cm* ca. 3 A.W. Nun müssen wir noch die A.W. für die Ankerrückwirkung ermitteln:

$$AW_{total} = \sqrt{J_2 N^2 + \left(\frac{J_1}{2} N\right)^2} = \sqrt{3400^2 + \left(\frac{16{,}13}{2} \times 150\right)^2} = 3400 + 200 = 3600.$$

Daraus Zahl der Windungen . . . . $\dfrac{3600}{1{,}13} = 3200$

» » » pro Spule $\dfrac{3200}{2} = 1600.$

Die Konstruktion ergiebt die Länge einer Windung = 0,68 *m* und die gesamte Drahtlänge = $68 \times 3200 = 2176$ *m*

Der Drahtquerschnitt $q = \dfrac{l N\, 0{,}02}{R_2} = \dfrac{0{,}68 \times 3200 \times 0{,}02}{97{,}92} = 0{,}39$ *qmm*

$d = 0{,}77$ *mm* blank

$d_1 = 1{,}27$ » besponnen.

Gewicht und Widerstand dieses Drahtes sind aus den Tabellen No. 6 u. 7 im Anhang zu ersehen.

Anhang II zur Tafel 6.

Berechnung einer geschlossenen Compound-Gleichstrommaschine, Type Lahmeyer, Trommelanker.

$e = 110$ V; $i = 15$ A; $ei = 1650$ Watt; $n = 1800$; $\eta = 0{,}86$.

Es ist das also dieselbe Maschine, welche vorstehend unter I berechnet wurde, nur mit dem Unterschied, dass wir hier eine automatische Spannungsregulierung mittels Compound-(Verbund-)Schaltung erzielen sollen.

Dieselben Werte, die wir für die Nebenschlussmaschine aufgestellt haben, gelten ohne jede Änderung auch hier.

Um die gleiche Spannung beim Leerlauf und bei der Vollbelastung zu erzielen, muss man vorerst ausser der Grösse des magnetischen Kraftstromes bei Vollbelastung — die wir schon kennen — auch noch die Grösse desselben beim Leerlauf ermitteln. Wir setzen:

$$\Phi_{leer} = \frac{110 \times 60 \times 10^8}{2 \times 150 \times 1800} = 122 \times 10^4$$

und wir brauchen zur Überwindung des Luftwiderstandes

$$J_2 N = \frac{122 \times 10^4 \times 0{,}8 \times 0{,}4}{155} = 2510 \text{ A. W.}$$

Nun wird

$$B = \frac{\Phi_{leer}}{Q_2} = \frac{1\,220\,000}{155} = 7880.$$

Für den Eisenweg brauchen wir ca. 4,5 Ampère-Windungen pro 1 *cm* und das ergiebt für das Ganze:

$$\{2510 + (74 \times 4{,}5)\} \times 1{,}1 = \sim 3130.$$

Beim Leerlauf giebt es keine Ankerrückwirkung.

Bei der Vollbelastung brauchen wir (siehe Seite 42) 3600 A. W.,
beim Leerlauf würden wir brauchen 3130 »
Differenz 470 A. W.

und diese Differenz ist zur Compoundierung nötig, d. h. wir müssen noch $\frac{470}{16{,}13}$ = rund 38 Windungen eines Drahtes $\left(\frac{38}{2} = 19 \text{ pro Spule}\right)$ aufwickeln, der einen Strom von 16,13 A ohne besondere Erwärmung fortleiten kann. Das Schema der Wickelung für diesen Fall zeigt die Fig. 15, Seite 9.

Alle anderen Grössen sind demnach leicht zu rechnen.

Anhang III zur Tafel 6.

Soll die vorstehend unter Anhang I berechnete Maschine zur Kraftübertragung benutzt werden, so stellt sich die

Berechnung eines »Elektromotors« für Gleichstrom-Betrieb mit 110 Volt zu einer Leistung von ca. 2 P.S.

wie folgt:

$e = 110$ V; $i = 15$ A; $ei = 1650$ Wattverbrauch; $n = 1500$; $\eta = 0{,}85$.

Der Verlust in der Leitung ist dabei vernachlässigt, da es sich in diesem Falle nur um eine ganz kurze Entfernung handeln kann:

$$R_2 = \frac{e}{i} \times \frac{1+\eta}{1-\eta} = \frac{110 \times 1{,}85}{15{,}7 \times 0{,}15} = 86{,}3\ \Omega$$

$$R_1 = \frac{e}{i} \times \frac{1-\eta^2}{4\eta} = \frac{110 \times 0{,}2775}{15{,}7 \times 3{,}4} = 0{,}57\ \Omega \ \left(\begin{matrix}\text{rektifiziert}\\ \text{auf } 0{,}25.\end{matrix}\right)$$

$$J_2 = \frac{e}{R_2} = \frac{110}{86{,}3} = \sim 1{,}28 \text{ A}$$

$$J_1 = i - J_2 = i - \frac{e}{R_2} = 15{,}7 - \frac{110}{86{,}3} = 14{,}4 \text{ A.}$$

Im Motor können wir das Materiale höher beanspruchen und setzen

$$B_1 = 17\,000$$

und es wird $\Phi = bcB\,0{,}7 = 17{,}6 \times 8{,}25 \times 17\,000 \times 0{,}7 = 172 \times 10^4$.

und

$$N = \frac{110 \times 60 \times 10^8}{2 \times 172 \times 10^4 \times 1500} = 128 \text{ Ankerwindungen.}$$

Wir wählen in diesem Falle einen Trommelanker mit 64 Nuten à 4 Drähten.

Der Durchmesser des Ankerdrahtes

$$d = 0{,}374 \sqrt[3]{J_1^2} = 0{,}374 \sqrt[3]{14{,}4^2} = 2{,}2 \ mm.$$

Die Länge einer Windung des Ankerdrahtes = 0,704 *m*; das ergiebt aber nicht, wie oben berechnet, $R_1 = 0{,}57$ Ohm, sondern bei Vernachlässigung aller Übergangs-Widerstände etc. nur ca. 0,25 Ohm und es wird der Spannungsverlust im Anker

$$= 14{,}4 \times 0{,}25 = 3{,}6 \text{ Volt.}$$

Die elektromotorische Gegenkraft ist dann

$$E_2 = 110 - 3{,}6 = 106{,}4 \text{ Volt.}$$

Diese erfordert eine Kraftlinienzahl

$$\Phi = \frac{E_2 \times 60 \times 10^8}{2 \times 128 \times 1500} = 158{,}2 \times 10^4$$

daher

$$B_1 = \frac{158{,}2 \times 10^4}{17{,}6 \times 8{,}25} = 16\,900.$$

Für das Eisen sind dann pro 1 *cm* Weglänge 3,5 A.W. (nach den Uppenborn'schen Angaben) nötig und wir brauchen für die Luft ($Q_2 = 155$ *qcm* und $L_2 = 0{,}4$ *cm*)

$$\left.\begin{aligned} A.W._2 &= \frac{158{,}2 \times 10^4 \times 0{,}8 \times 0{,}4}{155} = 3260 \\ A.W._3 &= 74 \ cm \times 3{,}5 \qquad\qquad = 260 \end{aligned}\right\} 3520 \text{ A.W.}$$

Wenn wir noch die Ankerrückwirkung berücksichtigen, wird

$$J_2 N = \sqrt{3520^2 + \left(\frac{14{,}4}{2} \times 128\right)^2} = 3640 \text{ A.W. zusammen.}$$

Da $J_2 = 1{,}3$ A, wird $N = \frac{3640}{1{,}3} = 2800$ Windungen im ganzen

und $\frac{N}{2} = \frac{2800}{2} = 1400$ » pro Spule.

Der Drahtquerschnitt wird dann

$$q = \frac{0{,}02 \times 2800 \times 0{,}68}{86{,}3} = 0{,}42 \ qmm$$

also $d = 0{,}75$ *mm* blank.

Die übrigen Grössen zu berechnen dürfte nun keinen Schwierigkeiten begegnen.

Wir bemerken hierzu, dass man sich heutzutage nicht mehr damit plagt, ohne zwingende andere Gründe (wie z. B. bei Strassenbahnmotoren) Elektromotore besonders zu konstruieren und damit die nötigen Modelle unnütz zu vermehren; denn jede Dynamomaschine arbeitet auch mit ganz annehmbarem Wirkungsgrad als Elektromotor. Anderseits werden letztere wohl kaum als günstig arbeitende Stromerreger benutzt werden können, wenn sie ursprünglich besonders als »Elektromotore« gebaut worden sind.

Anhang IV zur Tafel 6.

Berechnung einer geschlossenen Compound-Gleichstrommaschine, Type Lahmeyer, glatter Trommelanker.

$e = 65$ V; $i = 25$ A; $ei = 1525$ Watt; $n = 1500$;
Kraftverbrauch $= \sim 2{,}2$ P.S.

Die Messung hat ergeben:

$R_1 = 0{,}374\ \Omega$
$R_2 = 14{,}8\ \Omega$ in den dünnen Spulen
$R'_2 = 0{,}046\ \Omega$ in den dicken Spulen.

Im Regulator standen 28 Ohm zur Verfügung, von welchen dauernd 5,2 Ω zu R_2 zugeschaltet waren.

Daraus folgt, dass $J_2 = \frac{65}{20} = 3{,}25$ A

und die Arbeit im Nebenschluss

$$A_2 = 65 \times 3{,}25 = 211{,}25 \text{ Watt.}$$

Ferner ist $i^2 R'_2 = 25^2 \times 0{,}046 = 28{,}75$ Watt

und der Spannungsverlust in R'_2

$$= 25 \times 0{,}046 = 1{,}15 \text{ Volt.}$$

Es ist dann $J_1 = 25 + 3{,}25 = 28{,}25$ A

Spannungsverlust im Anker $= 28{,}25 \times 0{,}374 = 10{,}56$ Volt

$E = 75{,}56$ Volt

die Gesamtleistung $A = 75{,}56 \times 28{,}25 = \sim 2136$ Watt

und $\eta = 0{,}77$.

Der Anker ist aus isolierten Eisenscheiben aufgebaut, hat 30 Spulen à 4 Windungen und da ein Trommelanker verwendet ist, $30 \times 4 \times 2 = 240$ Windungen auf der äusseren Mantelfläche.

Ankerdurchmesser . . . . $= 149{,}5$ *mm*
Ankerlänge . . . . $= 200{,}0$ »
Achsendurchmesser . . . . $= 60$ »
Ankerquerschnitt $Q_1 = 200\ (149{,}5 - 60) = 179$ *qcm*
23 % ab für Papierisolierung $0{,}77 \times 179 = 138$ »

Nun ist

$$E = 75{,}56 = \frac{N n_1 \Phi}{10^8} = \frac{240 \times \frac{1500}{60} \times \Phi}{10^8}$$

daher $\Phi = \sim 1{,}23 \times 10^6$.

Die Länge des Kraftlinienweges im Anker

$$L_1 = 44{,}5 + \pi\, 52{,}5 = 21 \text{ cm}$$

und

$$B_1 = \frac{\Phi}{Q_1} = \frac{1{,}23 \times 10^6}{138} = \sim 8900.$$

Ankerdraht: $q = 1{,}13$ *qmm* blank
$d = 1{,}2$ *mm* blank
$d_1 = 1{,}7$ » besponnen.

Der Draht ist daher mit $\frac{27{,}36}{2 \times 1{,}13} = 12{,}1$ beansprucht. Das ist eine hohe Beanspruchung; sie ist aber zulässig, weil die Drahtwindungen alle

nebeneinander und gar keine übereinander liegen und auch sonst die Maschine gut ventiliert bezw. die Wärme abführt.

Die mittlere Länge einer Windung ist:

$$(200 + 40)\,2 + (2 \times 152) = 78{,}4\ cm$$

daher
$$R_1 = \frac{120 \times 0{,}784}{4} \times \frac{1}{60} \times \frac{1}{1{,}13} = 0{,}85\ \Omega;$$

die Rechnung stimmt daher mit dem Messresultat.

Berechnung der magnetomotorischen Kraft.

1. Für den Luftquerschnitt:

wenn: λ die Länge des Polschuh-Kreisbogens;
d_1 der Durchmesser des Ankers ($= 149{,}5\ mm$);
d_2 » » der Bohrung ($= 160$ »);
der mittlere Halbkreis ($= \pi d_1 = 243\ mm$);
die Entfernung der Polschuhspitzen ($= 93\ mm$) und
die Länge der Polschuhe ($= 200\ mm$)

dann ist
$$\lambda = 243 - 93 = 150\ mm$$
und
$$Q_2 = \sim 300\ qcm$$
$$L_2 = 160 - 149{,}5 = 10{,}5\ mm$$
$$B_2 = \frac{1{,}05}{300} \times 1{,}23 \times 10^6 = 4300.$$

2. Für die Magnete: Die Länge des Kraftlinienweges von der Polschuhfläche bis zum äusseren Gestell betrage 127 *mm*; von da im äusseren Mantel 600 *mm*, sonach ist

$$L_3 = 127 + 600 + 127 = \sim 85{,}5\ cm$$
$$Q_3 = 140 \times 200 = 280\ qcm.$$

Rechnen wir 15% Streuung, so wird

$$\Phi_v = \frac{\Phi}{0{,}85} = \frac{1{,}23 \times 10^6}{0{,}85} = 1{,}447 \times 10^6$$

und es wird
$$B_3 = \frac{1{,}447 \times 10^6}{280} = \sim 5200.$$

Zur Erzeugung dieses Kraftflusses sind thatsächlich aufgebracht:

1. 27 Windungen eines 5 *mm* Drahtes pro Spule
2. 608 » » 1,2 » » » »

also $2 \times 27 \times 25 = 1350$ A.W.
und $2 \times 608 \times 3{,}25 = \sim 4000$ »

Zusammen 5350 A.W.

Davon entfallen offenbar

für den Anker (Schmiedeeisen)	$B_1 = 9200$;	$L_1 = 21$ cm;	a.w. = 4;	21 × 4 =	84 A.W.
» den Luftraum	$B_2 = 4305$;	$L_2 = 1{,}05$;	a.w. = 3500;	1,05 × 3500 =	~3600 »
» » Magneten (Gusseisen)	$B_3 = 5200$;	$L_3 = 85$;	a.w. = 9;	85 × 9 =	766 »
					4450 A.W.

bleiben zur Überwindung der Ankerrückwirkung 900 »

Zusammen 5350 A.W.

Tafel 8.

Zweipolige Compound-Maschine, Manchester-Type.

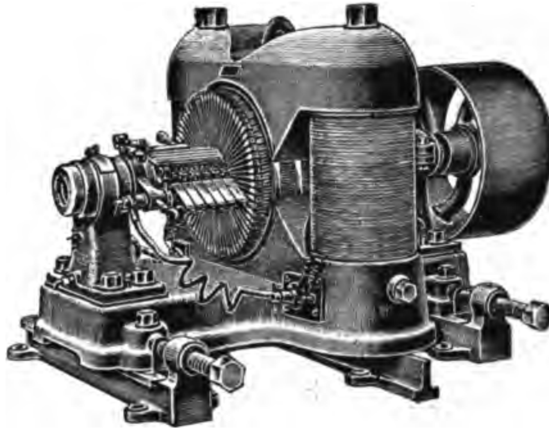


Fig. 28.

e = 65 V; i = 150 A; ei = 9750 Watt; n = 1100; Kraftbedarf = 14.P.S.

(i = Hauptstromstärke; $\lambda = \frac{l}{q}$ beim Anker; $\left.\begin{matrix} D \text{ äusserer} \\ D_1 \text{ innerer} \end{matrix}\right\}$ Ankerdurchmesser; $t = \frac{D_1}{D}$;

$k = \frac{\text{Dicke der Blechscheiben} = s}{s + \text{Isolation}}$; b = Drahtbelastung pro *qmm.*)

(Berechnung nach Prof. Dr. Richard Rühlmann.)

I. Der Anker.

Der Drahtquerschnitt $q = \frac{i}{2b} = \frac{150}{2 \times 4{,}15} = 18{,}07$ *qmm*

» Drahtdurchmesser $d = \sqrt{\frac{2i}{\pi b p}} = \sqrt{\frac{2 \times 150}{3{,}14 \times 4{,}15 \times 1}} = 4{,}8$ *mm* blank

$d_1 = d + 0{,}5$ . . . . $= 5{,}3$ » umsponnen.

Wir nehmen einstweilen an, dass E = 65 + 10 = 75 Volt, und $\lambda = \frac{2}{3}$.

Nun würde für den Ringanker

$$D = 13 \sqrt[3]{\frac{Ei}{\lambda n}} = 13 \sqrt[3]{\frac{75 \times 150}{0{,}66 \times 1100}} = 32{,}3 \text{ cm.}$$

(Bei Trommelankern ist statt 13 der Erfahrungskoëffizient 11 zu setzen.)

Die Zahl der Windungen nebeneinander:

$$m_1 = \frac{D\pi}{d_1} = \frac{32{,}3 \times 3{,}14}{0{,}54} = 188.$$

Warum statt 0,53 hier 0,54 angesetzt wird, dürfte klar sein.
Die Zahl der Windungen nebeneinander: $m_2 = 1$

$$m_1 \times m_2 = m = 188.$$

Der Eisenquerschnitt des Ankers wäre nun:

$$Q_1 = (D - D_1)\, lk = D^2 (1 - t)\, kl$$
$$= 32^2 (1 - 0{,}6) \times 0{,}85 \times 0{,}66 = 236 \textit{ qcm}.$$

Nun wäre

$$B_1 = \frac{60\, E \times 10^8}{m n p\, (D - D_1)\, lk} = \frac{60 \times 75 \times 10^8}{188 \times 1100 \times 1 \times 236} = 9220 \text{ c. g. s.}$$

Diese Zahl ist zu gering, die Ankerrückwirkung würde im Verhältnis dazu bedeutend sein, die Funkenbildung aussergewöhnlich gross. Ein besserer Wert für B_1 ist 14000 und wir müssen daher den Ankerquerschnitt verringern:

$$Q_1 : 236 = 9220 : 14000$$
$$Q_1 = 155 \textit{ qcm}.$$

Wir ändern nun:

$$D = \sqrt{\frac{Q_1}{k\lambda\, (1 - t)}} = \sqrt{\frac{155}{0{,}85 \times 0{,}66 \times (1 - 0{,}6)}} = 26{,}2 \sim 26{,}5 \textit{ cm}$$

$D_1 = 15{,}9$ *cm*; und
$l = 0{,}66 \times 26{,}2 = 17{,}5 \sim 17{,}7$ *cm*.

Nun würde

$$m_1 = \frac{(26{,}2 + 0{,}26)\, \pi}{0{,}54} = \sim 160 \text{ Windungen}$$

und es lässt sich die Länge des Ankerdrahtes berechnen zu

$$m_1\, 2\, (l + D - D_1 + d_1) = 160 \times 2\, (17{,}7 + 26{,}5 - 15{,}9 + 0{,}53) = 92{,}8 \sim 93 \textit{ m}.$$

Der Widerstand dieses Drahtes ist:

$$R = \frac{0{,}016\, (1 + 0{,}0038 \times 60) \times 93}{18{,}1} = \sim 0{,}1 \text{ Ohm}$$

und $R_1 = 0{,}025$ Ohm.

Daher der Spannungsverlust im Anker

$$E - e = 0{,}025 \times 150 = 3{,}75 \text{ Volt}.$$

Kontrollrechnung:

$$D = \sqrt[3]{\frac{E\, 60 \times 10^8\, d_1}{B_1\, k\, \lambda\, (1 - t)\, \pi\, m_2\, n\, p}}$$
$$= \sqrt[3]{\frac{72 \times 60 \times 10^8 \times 0{,}53}{14000 \times 0{,}85 \times 0{,}667 \times (1 - 0{,}6) \times 3{,}14 \times 1 \times 1100 \times 1}}$$
$$= 27{,}5 \textit{ cm}$$

$D_1 = 0{,}6 \times 27{,}5 = 16{,}5$ *cm*.

Nun wird $l = 0{,}66 \times 27{,}5 = 18{,}3$ *cm*

und $Q_1 = \overline{27{,}5} \times 0{,}85\, (1 - 0{,}6) \times 0{,}66 = 172$ *qcm*.

Die Stärke des Kraftflusses ist jetzt

$$\Phi = Q_1 B_1 = 172 \times 14000 = 2410000.$$

Es wird daher

$$m = \frac{E\, 60 \times 10^8}{\Phi\, n\, p} = \frac{72 \times 60 \times 10^8}{2410000 \times 1100 \times 1} = 163 \sim 164$$

und die Zahl der Kollektorlamellen

$$m_c = 10\sqrt[3]{Ep} = 10\sqrt[3]{72 \times 1} = \sim 41 \text{ (also } 41 \times 4 = 164)$$

(d. h. jede der 41 Spulen erhält 4 Windungen).

Die abkühlende Oberfläche des Ankers ist

$$O = D\pi l + 2\pi D(D - D_1) = 3178 \; qcm.$$

Es werden $150^2 \times 0{,}025 = 562$ Watt in Wärme umgesetzt, sodass auf 1 Watt $\frac{3178}{562} = \sim 5{,}7$ *qcm* entfallen. (Nach Kapp rechnet man in diesem Falle 3,5 bis 9 *qcm* pro 1 Watt).

Der gewickelte Anker hat nun einen äusseren Eisendurchmesser: 27,50 *cm*

Isolation zwischen Draht und Eisen	2 × 0,7 *mm*	= 0,14	»
Drahtstärke	2 × 5,3 »	= 1,06	»
Stärke der Bandagen	2 × 1,5 »	= 0,30	»
		29,00	*cm.*

Der Abstand zwischen Ankereisen und Polschuhfläche:

L_2 = 0,7 *mm* Isolation
= 5,3 » Drahtstärke
= 1,5 » Bandagen
= 4,5 » freier Raum

12,0 bezw. 1,2 *cm*
bezw. 2 × 1,2 = 2,4 *cm.*

Die bei der Kontrollrechnung gefundenen Werte haben wir mit unwesentlichen Änderungen der Konstruktionsskizze Tafel 8 zu Grunde gelegt.

II. Das Eisengestelle des Feldmagneten.

Die schmiedeeisernen Kerne haben quadratischen Querschnitt; die Joche bezw. Polschuhe sind aus Gusseisen angefertigt.

$\Phi_1 = 2400000$; daher entfällt für jeden der beiden Teile

$$\Phi_3 = \Phi_4 = \frac{\Phi_1}{2} = 1200000 = 1{,}2 \times 10^6$$

Die Streuung ist grösser als beim Lahmeyer-Typus; wir nehmen an $\varepsilon = 1{,}44$, und müssen daher in jedem der beiden Kraftströme erzeugen:

$$\varepsilon\Phi_1 = 1{,}44 \times 1{,}2 \times 10^6 = 1{,}73 \times 10^6.$$

Wenn nun in den Kernen $B_3 = 10000$ sein soll, dann wird

$$Q_3 = \frac{\varepsilon\Phi_3}{B_3} = \frac{1{,}73 \times 10^6}{10000} = 173 \; qcm$$

das giebt eine Seitenlänge von 13,2 *cm.*

Genügt in den gemeinsamen Polstücken:

$$B_4 = 6000$$

dann wird

$$Q_4 = \frac{\varepsilon\Phi_3}{B_4} = \frac{1{,}73 \times 10^6}{6000} = 289 \; qcm.$$

Wir müssten eigentlich hier den Widerstand berücksichtigen, den der Kraftfluss an den Übergängen vom Schmiedeeisen zum Gusseisen zu überwinden hat; da dieser aber verhältnismässig recht klein ist, wollen wir ihn zur Vereinfachung der Rechnung vernachlässigen und bei der Ermittelung der Ampère-Windungen durch Abrundungen nach Oben berücksichtigen.

Der Anker ist 18,3 *cm* lang; giebt man den Polschuhen eine Breite von 22 *cm*, so wird die Höhe derselben $\frac{289}{22} = 13{,}2$ *cm*. Die halbe Breite der Polschuhe setzt man gleich der Höhe $= 13{,}2$ *cm*.

Die im vorstehenden angegebenen Maasse genügen, um mit der Skizzierung der Maschine beginnen zu können; den Ausgangspunkt hierzu bieten die Ankermaasse.

III. Die Ampère-Windungen (NJ_2).

Zur Ermittelung derselben benutzen wir die Formel

$$NJ_2 = \frac{10}{4\pi}\{L_1 f(B_1) + 2 B_2 L_2 + L_3 f(\varepsilon B_3) + L_4 f(\varepsilon B_4)\}$$

und die Diagramme auf den Tafeln 24 und 25.

Aus der Skizze ersehen wir, dass

$L_1 = \pi 11 + (2 \times 2{,}25)$ . . . . . . $= 39$ *cm*
$L_2 = 2 \times 1{,}2$ . . . . $= 2{,}4$ » (bezw. 3,2)*)
$L_3 =$ . . . . $= 30{,}5$ »
$L_4 = (2 \times 6{,}6) + (2 \times 30{,}5) + (2 \times 6{,}9) = 88{,}0$ »

Wir wissen ferner schon, dass

$B_1 = 14000$ (Schmiedeeisen)
$\varepsilon B_3 = 10000$ (Schmiedeeisen)
$\varepsilon B_4 = 6000$ (Gusseisen) und rechnen, dass

$$B_2 = \frac{\text{Kraftlinienzahl}}{\text{halbe Ankeroberfläche}} = \frac{2{,}4 \times 10^6}{0{,}5 \times 27{,}5 \times 3{,}14 \times 18{,}3} = 3040 \text{ (Luft)};$$

dann wird nach oben zitiertem Diagramm:

$f(B_1) = 16$
$f(\varepsilon B_3) = 5$
$f(\varepsilon B_4) = 25$

und setzen wir alle diese Werte in obige Formel ein, resultiert

$$NJ_2 = \frac{10}{4 \times 3{,}14}\{(39 \times 16) + (2 \times 3040 \times 3{,}2) + (30{,}5 \times 5) + (88 \times 25)\} = 17840 \text{ A.W.}$$

Um die Rückwirkung des Ankers zu kompensieren, ist der Wert für NJ_2 um einen bestimmten Betrag zu erhöhen, und wir rechnen:

$$\Phi_a = \frac{\frac{4\pi}{10}\text{ Ampère-Windungen auf dem Anker}}{\text{Magnetischer Widerstand des Luftzwischenraumes}} = \frac{\frac{4\pi}{10} m \frac{i}{2p}\frac{1}{2p}}{2\frac{L_2}{Q_2}}$$

also

$$\Phi_a = \frac{\frac{\frac{4\pi}{10} \times 164 \times \frac{150}{2} \times \frac{1}{2}}{2 \times 3{,}2}}{27{,}5 \times 3{,}14 \times 18{,}3 \times 0{,}5} = 955000.$$

---

*) Nach einer Formel von Fischer-Hinnen ist

$$L_2 = \frac{1}{\overline{de}}\left(\overline{ab} \times \delta + \frac{\overline{be}^2 \times \pi}{2}\right) = \frac{1}{21{,}6}\left(16 \times 1{,}2 + \frac{\overline{5{,}6}^2 \times 3{,}14}{2}\right) = 3{,}2 \textit{ cm}.$$

Dabei ist $\overline{de}$ der äussere Quadrantenbogen des Ankereisens;
$\overline{ab}$ der gegenüberliegende Teil des Polschuhes bezw. die Hälfte des Kreisteiles, mit welchem der Polschuh den Anker umfasst, und
$\overline{be}$ die Entfernung von der Polspitze bis zur nächsten Quadranten-Normal-Linie.

Daraus folgt:

$$\text{tang}\ \alpha = \frac{\Phi_a}{\Phi} = \frac{955000}{3460000}; \qquad \alpha = 15^0 25'; \qquad \sin\alpha = 0{,}266$$

$$B'_4 = \frac{\varepsilon B_4}{1+\sin\alpha} = \frac{6000}{1+0{,}266} = 4700; \qquad F(B'_4) = 7{,}8$$

$$B''_4 = \frac{\varepsilon B_4}{1-\sin\alpha} = \frac{6000}{1-0{,}266} = 8200; \qquad F(B''_4) = 72$$

Nun ist die Anzahl der A. W., welche die Ankerrückwirkung parallelisieren soll:

$$= \frac{10}{4\pi}\left\{L_3\left[\frac{1}{2}f\left(\varepsilon\frac{\Phi}{Q_3}\,\frac{1}{1+\sin\alpha}\right)+\frac{1}{2}f\left(\varepsilon\frac{\Phi}{Q_3}\cdot\frac{1}{1-\sin\alpha}\right)-f\left(\varepsilon\frac{\Phi}{Q_3}\right)\right]+2L_2\frac{\Phi_a}{Q_2}\frac{\alpha^0}{90^0}\right\}$$

$$= \frac{10}{4\pi}\left\{88\times(0{,}5\times7{,}8+0{,}5\times72-25)+2\times3{,}2\times\frac{954000}{0{,}5\times27{,}5\times3{,}14\times18{,}3}\times\frac{15{,}4}{90}\right\} = 2140$$

$$\Sigma\ \text{A. W.} = 17840 + 2140 = \sim 20000.$$

Da die Maschine im Betrieb bei verschiedener Belastung gleichbleibende Spannung liefern soll (Compound), so müssen wir auch den anderen Grenzwert, wenn der Anker stromlos und daher die Ankerrückwirkung gleich Null ist, rechnen. Dass dabei der Anker doch Strom für den Nebenschluss liefern muss, ist ein Umstand, der ohne Schaden für das Endresultat vernachlässigt werden kann.

Bei unbelasteter Maschine ist $E = e = 65$ Volt, und es wird

$$\Phi' = \frac{65\times60\times10^8}{164\times1100} = 2{,}16\times10^6 \text{ und } \frac{\Phi'}{2} = 1{,}08\times10^6$$

bezw. $$\varepsilon\frac{\Phi'}{2} = 1{,}44\times1{,}08\times10^6 = 1{,}56\times10^6$$

d. h. wir arbeiten mit den Sättigungen:

$$\varepsilon B'_1 = 12600 \qquad F(\varepsilon B'_1) = 8{,}8$$

$$\varepsilon B'_2 = \frac{2{,}16\times10^6}{0{,}5\times27{,}5\times3{,}14\times18{,}3} = 2733$$

$$\varepsilon B'_3 = \frac{1{,}56\times10^6}{173} = 9000 \qquad F(\varepsilon B'_3) = 4{,}6$$

$$\varepsilon B'_4 = \frac{1{,}56\times10^6}{289} = 5390 \qquad F(\varepsilon B'_4) = 18$$

Da die Längen dieselben sind, erhalten wir:

$$NJ_2 = \frac{10}{4\pi}\{(39\times8{,}8)+(2\times2733\times3{,}2)+(30{,}5\times4{,}6)+(88\times18)\} = 15600.$$

Die nötigen 19940 Ampère-Windungen verteilen sich also:

für den Nebenschluss . . . . . . 15600 A. W.
für den Hauptschluss 19940 — 15600 = 4340 A. W.

Der Hauptschluss.

Da in diesem eine Stromstärke bis zu 150 Ampère herrschen kann, brauchen wir $\frac{4340}{150} = \sim 30$ Windungen. Setzen wir die Drahtbeanspruchung $= 1{,}8$ A. per 1 *qmm*, so wird der Drahtquerschnitt für die dicke Wickelung

$$\frac{150}{1{,}8} = 83\ \textit{qmm} \text{ bezw. } d = 1{,}03\ \textit{cm}.$$

Um diesen Querschnitt zu erreichen, nehmen wir den Gleichwert von 5 parallelen Drähten, 4,6 *mm* stark (blank), bezw.
5,1 » » (umsponnen).

Um 30 Windungen zu erzielen, brauchen wir zusammen 150 Drähte.

Legen wir $\left\{\begin{matrix}\text{5 nebeneinander}\\ \text{6 übereinander}\end{matrix}\right\}$ so sind $2^1/_2$ Lagen nötig, wozu ein Wickelraum von der Fläche:

$5 \times 5{,}1 = 2{,}55$ *cm*
$6 \times 5{,}1 = 3{,}06$ »

also $\left(2{,}55 + 2{,}55 + \frac{2{,}55}{2}\right) = 6{,}25$ und $(2 \times 3{,}06) \ldots\ldots = 6{,}12$ } $6{,}25 \times 6{,}12 = 39$ *qcm* erforderlich ist.

Die mittlere Länge einer Windung $= (4 \times 13{,}2) + \underbrace{0{,}8 + 0{,}8}_{\text{(Isolation)}} = 54{,}4$ *cm*

Dann haben 30 Windungen $54{,}4 \times 30 + 3\,\% \ldots\ldots = 1680$ *cm*
und weil 2 Spulen: $1680 \times 2 \ldots\ldots = 33{,}60$ *m*. {(fünffach paralleler Draht)
Nun ist $R'_2 = \frac{1}{60} \times \frac{33{,}60}{83} \ldots\ldots = 0{,}008\ \Omega$
und der Spannungsverlust $= 0{,}008 \times 150 \ldots\ldots = 1{,}2$ Volt
der Energieverlust $= 0{,}008 \times 150^2 \ldots\ldots = 180$ Watt.

Der Nebenschluss.

Es soll der Drahtquerschnitt

$$q = \frac{\text{A.W.} \times \text{Zahl der Spulen} \times \text{Länge einer Windung}}{60\,E} = \frac{15600 \times 2 \times 0{,}9}{60 \times 65{,}8} = 7{,}11\ qmm$$

Bei einer Stromstärke im Nebenschluss $\ldots\ldots = 8{,}5$ A,
wird die Belastung pro 1 *qmm* $\frac{8{,}5}{7{,}11} \ldots\ldots = 1{,}2$ A,
und die Windungszahl $= \frac{15600}{8{,}5} \ldots\ldots = 1840$.
Der blanke Draht hat eine Stärke $\ldots\ldots = 3$ *mm* (d. s. 7,11 *qmm*)
der umsponnene Draht hat eine Stärke $\ldots\ldots = 3{,}5$ *mm*.
Legen wir eine Lage $\ldots\ldots = \sim 85$ Windungen,
so erhalten wir $\frac{1840}{85} \ldots\ldots = \sim 22$ Lagen.
Die innere Seite der Spule hat eine Länge $= 13{,}2 + 2 \times 1{,}4 = 16$ *cm*.
Die äussere » » » » » » $= 16 + 2 \times 6{,}9 = 29{,}8$ *cm*.
Die mittlere Länge einer Seite ist daher $= \frac{16 + 29{,}8}{2} \ldots = 22{,}9$ *cm* und
die mittlere Länge einer Windung $= 4 \times 22{,}9 \ldots\ldots = 91{,}6$ *cm*.
Länge des Nebenschlussdrahtes beider Spulen $= 2 \times 1650 \ldots = 3300$ *m*.
Der Widerstand dieses Drahtes $= \frac{1}{60}\ \frac{3300}{7{,}11} \ldots\ldots = 7{,}74$ Ohm.
In Wärme werden umgesetzt: $7{,}74 \times \overline{8{,}5}^2 \ldots\ldots = 559$ Watt.
Im ganzen gehen in den A. W. verloren: $559 + 180 \ldots\ldots = \sim 740$ Watt.
Die ausstrahlende Oberfläche ist bei 29,8 *cm* Seitenlänge und
30,5 *cm* Höhe: $2 \times 4 \times 29{,}8 \times 30{,}5 \ldots\ldots = 7271$ *qcm*
und es entfallen daher auf 1 Watt: $7271 : 683 \ldots\ldots = 10{,}6$ *qcm*,
was genügt; denn 9 bis 20 *qcm* pro 1 Watt sind gestattet.

Tafel 9 und 10.

Offene zweipolige Gleichstrom-Dynamomaschine (System Kummer).

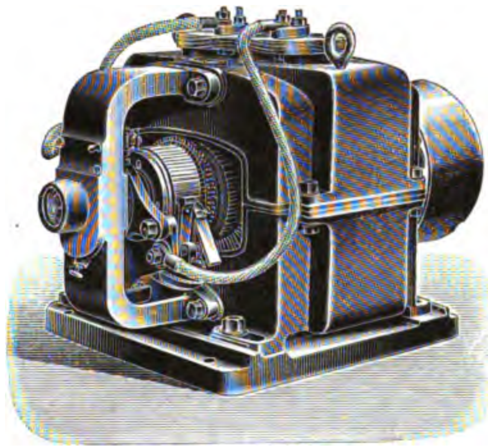


Fig. 29.

A. als Dynamo (Tafel 9).

$$e = 120 \text{ V}; \quad i = \left.\begin{matrix}108_{max.}\\ 83_{norm.}\end{matrix}\right\} \text{A}; \quad ei = \left.\begin{matrix}13000_{max.}\\ 10000_{norm.}\end{matrix}\right\} \text{Watt}; \quad n = 1150_{norm.}$$

$$\text{Kraftverbrauch} = \left.\begin{matrix}20,8_{max.}\\ 16\ _{norm.}\end{matrix}\right\} \text{P.S.}$$

B. als Motor:

$$e = 100 \text{ bis } 115 \text{ V}; \quad i = \left.\begin{matrix}120_{max.}\\ 92_{norm.}\end{matrix}\right\} \text{A}; \quad ei = \left.\begin{matrix}13800_{max.}\\ 10600_{norm.}\end{matrix}\right\} \text{Watt}; \quad n = 1000$$

$$\text{Leistung} = \left.\begin{matrix}16\ _{max.}\\ 12,5_{norm.}\end{matrix}\right\} \text{P.S.}$$

Die Tafel 10 zeigt die gleiche Maschinen-Type in der Ausführung als Kapselmotor.

Beide Konstruktionen stammen aus der Fabrik der »Akt.-Gesellschaft Elektricitäts-Werke (vormals O. L. Kummer & Co.) in Dresden-Niedersedlitz« und wird diese Type auch für langsamere Umdrehungen gebaut. Wir haben hier unter Weglassung der meisten stromleitenden Teile hauptsächlich den interessanten mechanischen Aufbau und das Eisengerüste für den Kraftstrom in seiner konstruktiven Ausführung dargestellt; die Berechnung des Kraftstromes und der elektrischen Leitungsteile dürfte nach den vorausgehenden vielfachen Berechnungen dieser Art keinen Schwierigkeiten mehr unterliegen. Die nachstehenden Tabellen zeigen, nach welchen

Abmessungen in der genannten Fabrik kleinere und grössere Maschinen dieser Type sowohl als Dynamos, wie auch als Motore gebaut werden, und bringen wir diese Tabellen etwas ausführlicher, weil sie von einer Vollständigkeit und Übersichtlichkeit sind, die als Muster gelten kann.

Bei dieser Maschinentype »Lambda« aus obengenannter Fabrik besteht das Eisengestell aus zwei Hälften, welche durch horizontale Anschlussflächen an einander gepasst und verschraubt werden. Es ist nötig, dass diese Flächen ganz besonders bearbeitet werden, damit sie rein metallisch sind und einen möglichst guten Kontakt gewähren. Die Polschuhe sind mit angegossen.

Der obere Teil ist zum Abheben eingerichtet, um die Magnetspulen und den Anker einsetzen zu können. Am Eisengestell sind dort, wo die Welle aus- und eintritt, Flanschen angegossen, welche den Innenraum zum Teil verdecken, so dass man die Magnetspulen gar nicht und vom Anker nur wenig sehen kann. Infolge dieser Verdeckung sind diese Teile vor mechanischen Verletzungen geschützt. Für Ventilation ist ausreichend gesorgt.

Tabelle

über die Dynamo-Gleichstrom-Maschine »Lambda« von der Akt.-Gesellschaft Elektricitäts-Werke (vorm. O. L. Kummer & Co.)

(Fig. 29, 30, 31 und 32.)

Modellgrösse		A_3	A_2	A_1	B	C	D	E	F	G	H	J
A. Als Dynamo:												
Kilowatt	maximal	1,0	1,8	3,1	4,5	6,5	9	13	18	26	39	54
	normal	0,8	1,4	2,4	3,5	5	7	10	14	20	30	42
Umlaufzahl pro Minute ca.		1800	1650	1500	1350	1300	1200	1150	900	780	710	630
Kraftverbrauch i.P.S.	maximal	2,08	3,45	5,6	7,8	10,8	14,8	20,8	28,6	39	58,4	80,5
	normal	1,6	2,65	4,3	6,0	8,3	11,4	16	22	30	45	62
Anker-Nummer: 1, Ampère bei 67 Volt	maximal	15	27	46	67	97	134	194	270	390	580	800
	normal	12	21	36	52	75	104	150	210	300	450	630
2, 85 Volt	maximal		21	36	53	76	106	153	212	306	460	635
	normal		16,5	28,2	41,2	59	82	118	165	235	354	495
3, 120 Volt	maximal	8,3	15	26	37	54	75	108	150	216	325	450
	normal	6,7	12	20	29	42	58	83	116	166	250	350
4, 155 Volt	maximal		11,6	20	29	42	58	84	116	168	252	350
	normal		9	15	22	32	45	64	90	129	194	270
5, 250 Volt	maximal		7,2	12,4	18	26	36	52	72	104	156	216
	normal		5,6	9,6	14	20	28	40	56	80	120	168
6, 320 Volt	maximal								56	82	122	170
	normal								43	62	94	131
7, 500 Volt	maximal			6,2	9	13	18	26	36	52	78	108
	normal			4,8	7	10	14	20	28	40	60	84
8, 1000 Volt	maximal								18	26	39	54
	normal								14	20	30	42
9, 1500 Volt	maximal								12	17,3	26	36
	normal								9,3	13,3	20	28

Tabelle
über die Gleichstrom-Motoren »Type Lambda« der Aktien-Gesellschaft Elektrizitäts-Werke (vorm. O. L. Kummer & Co.).

Modellgrösse	A_8	A_7	A_6	A_5	A_4	A_3	A_2	A_1	B	C	D	E	F	G	H	J
B. Als Motor:																
Leistung in P.S. maximal	0,03	0,1	0,2	0,3	0,7	1,1	2,1	3,5	5,5	7,8	11	16	22,5	33	50	71
Leistung in P.S. normal	0,025	0,085	0,16	0,25	0,54	0,9	1,66	2,75	4,25	6,0	8,5	12,5	17,5	25,5	39	55
Umlaufzahl pro Minute ca.	2200	2200	2000	1900	1800	1600	1350	1250	1100	1100	1000	1000	750	650	600	520
Wattverbrauch maximal	78	156	270	400	810	1230	2150	3450	5100	6900	9600	13800	19000	27000	40500	57000
Wattverbrauch normal	60	120	210	310	625	950	1660	2650	3900	5300	7400	10600	14600	20800	31200	43700
Anker-Nummer: 1 — Ampère bei 65 Volt maximal	1,3	2,4	4,2	6,2	12,5	19	32,5	52	78	105	150	210	292	416	—	—
Anker-Nummer: 1 — Ampère bei 65 Volt normal	0,93	1,85	3,25	4,8	9,6	14,7	25	40	60	81	115	163	225	320	—	—
Anker-Nummer: 3 — Ampère bei 100 bis 115 Volt maximal	0,68	1,35	2,4	3,5	7	10,8	18,8	30	44	60	84	120	164	234	350	500
Anker-Nummer: 3 — Ampère bei 100 bis 115 Volt normal	0,52	1,04	1,83	2,7	5,4	8,3	14,5	23	34	46	65	92	126	180	270	380
Anker-Nummer: 5 — Ampère bei 215 » 230 Volt maximal						5,4	9,4	15	22	30	42	60	82	117	175	248
Anker-Nummer: 5 — Ampère bei 215 » 230 Volt normal						4,1	7,2	11,5	17	23	32	46	63	90	135	190
Anker-Nummer: 7 — Ampère bei 450 » 500 Volt maximal								6,9	10,2	13,8	19,5	27,6	38	54	81	114
Anker-Nummer: 7 — Ampère bei 450 » 500 Volt normal								5,3	7,8	10,6	15	21,2	29,2	42	62	88
Anker-Nummer: 8 — Ampère bei 900 » 1000 Volt maximal													19	27	40,5	57
Anker-Nummer: 8 — Ampère bei 900 » 1000 Volt normal													14,6	20,8	31,2	43,7
Anker-Nummer: 9 — Ampère bei 1350 » 1500 Volt maximal													12,7	18	27	38
Anker-Nummer: 9 — Ampère bei 1350 » 1500 Volt normal													9,7	13,9	20,8	29
Gewicht in Kilogramm																
Dynamo	3	12,5	22	35	70	120	170	250	310	400	460	670	880	1170	1950	3225
Schlitten						18	20	25	30	35	45	55	70	90	110	130
Holzunterlage						15	18	24	28	32	37	45	50	70	90	110
Anker mit Kollektor und Welle		0,23	6,5	8	10	20	27	40	60	85	115	150	230	375	625	890
Kollektor		2,5	0,80	1,05	2,35	3	3,6	5	6	9,5	125	125	27	48	82	120

Die Kapsel-Motoren sind um ca. 6 % schwerer als die vorstehende Tabelle für Dynamos angiebt.

Maasse der Dynamo-Maschinen und Motoren.

Maasse in Millimeter. (Fig. 30, 31 und 32.)

	a	b	c	d	e	f	g	h	i	k	l	m	n	o	p	q	r	s	t	u	v	w	x
A_7	238	204	153	—	38	—	—	—	—	136	120	—	43	30	108	9	80	202	164	144	30	112	93
A_6	330	232	182	—	44	—	—	—	—	150	166	—	57	40	140	12	95	228	186	196	45	158	118
A_5	405	264	210	—	55	—	—	—	—	176	190	—	85	45	170	16	110	260	216	222	55	205	145
A_4	500	300	240	—	60	—	—	—	—	200	220	—	85	45	205	18	125	296	242	256	78	257	166
A_3	598	376	288	328	80	420	430	360	240	230	280	390	105	50	250	22	150	370	304	320	81	305	212
A_2	685	426	315	355	80	475	480	410	290	256	330	440	115	50	295	25	170	420	345	370	76	359	249
A_1	760	486	365	410	80	530	540	460	330	290	370	496	150	60	330	27	190	480	390	420	89	390	276
B	820	496	395	440	95	565	570	500	360	316	390	520	170	70	355	32	205	490	420	440	97	423	298
C	855	556	445	495	95	610	620	540	400	350	430	570	220	85	370	35	230	550	470	490	100	450	320
D	935	596	475	525	95	640	660	580	420	370	460	610	240	100	400	40	245	590	498	520	100	485	350
E	1000	660	535	590	95	730	700	640	470	410	480	640	250	130	430	45	275	654	552	550	120	505	365
F	1100	716	565	625	115	780	730	680	500	450	500	670	340	160	440	50	290	710	600	570	120	605	375
G	1275	876	655	720	115	950	838	830	630	550	596	776	390	210	512	55	335	870	720	666	140	700	430
H	1490	968	735	800	130	1020	920	885	670	615	670	848	430	270	590	65	375	960	786	740	140	805	490
J	1705	1138	835	905	130	1220	1030	1040	800	690	770	962	540	330	690	70	425	1130	900	850	230	907	556

Maasse der Fundamente für Dynamos und Motoren A_5 und A_4

in Millimeter. (Fig. 33 und 34.)

Modell	a	b	c	d	e	f	g	h	i	k
A_5	320	310	280	190	176	110	175	$^7/_{16}$"	85	45
A_4	360	325	320	220	200	125	200	$^1/_2$"	85	45

Das Fundament ist bis auf den gewachsenen Boden zu führen; die Fundamenttiefe darf aber nicht weniger als das Maass b betragen. Die Ankerlöcher sind mit Cement auszugiessen.

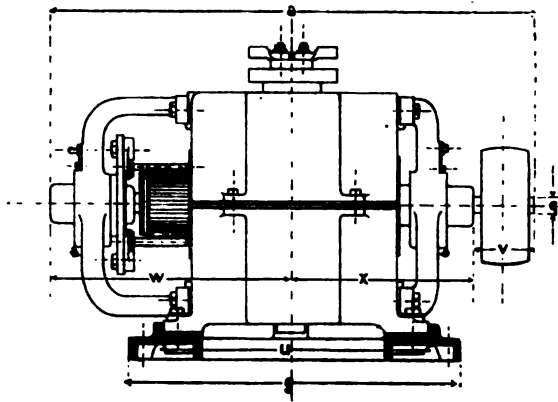
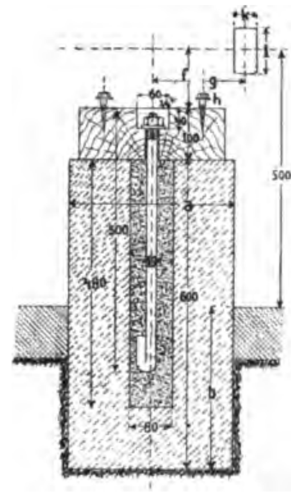


Fig. 30.



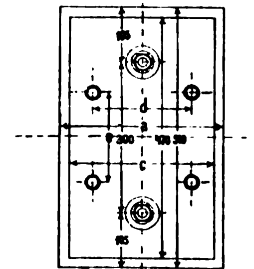


Fig. 33 und 34.

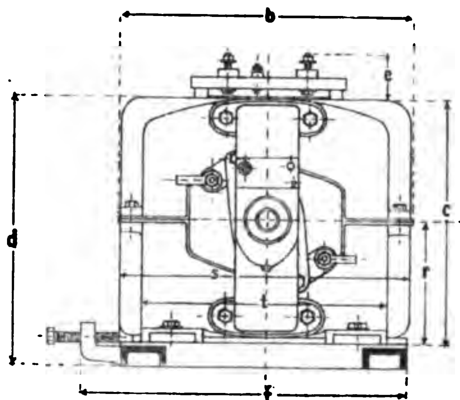


Fig. 31.

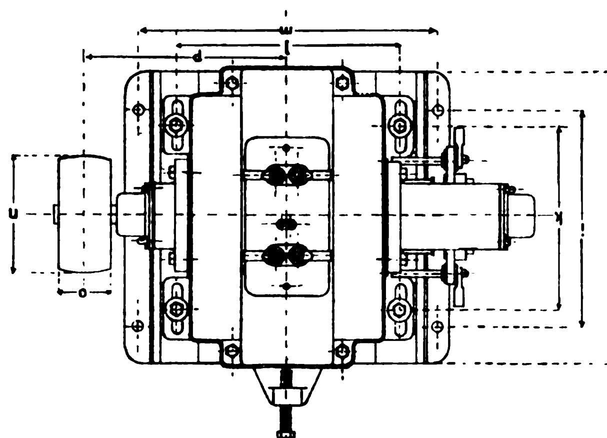


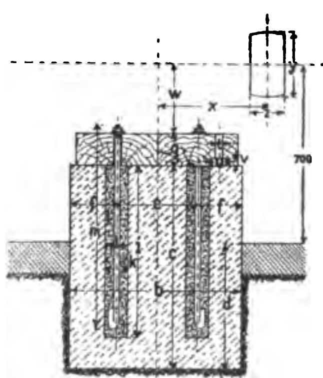
Fig. 32.

Maasse der Fundamente
ohne Schlitten für Dynamo-Maschinen und Motoren A_3 bis J.

Maasse in Millimeter. (Fig. 35 und 36.)

Modell	A_3	A_2	A_1	B	C	D	E	F	G	H	J
a	680	720	760	820	850	900	980	1040	1298	1380	1640
b	440	480	520	560	600	640	680	680	856	930	1040
c	800	800	800	800	800	800	800	800	800	800	800
d	350	370	390	425	450	465	495	510	555	595	645
e	200	220	240	260	280	300	320	320	408	446	500
f	120	130	140	130	160	170	180	180	224	242	270
g	360	400	440	490	520	570	640	700	850	896	1100
h	160	160	160	165	165	165	170	170	224	242	270
i	680	680	680	680	680	680	680	680	680	680	680
k	80	80	80	90	90	90	100	100	100	110	110
l	16	16	16	19	19	22	22	26	26	29	29
m	750	750	750	800	800	800	800	800	800	800	800
n	640	680	720	780	810	860	940	1000	1258	1340	1600
o	200	220	240	260	280	300	320	320	408	445	500
p	100	110	120	130	140	150	160	160	204	222	250
q	100	100	100	120	120	120	120	120	120	120	120
r	280	330	370	390	430	460	480	500	595	670	770
s	230	256	290	316	350	370	410	450	550	615	690
t	17	17	20	20	23	23	27	27	27	30	30
u	40	40	50	50	55	55	60	60	60	65	65
v	20	20	20	20	23	25	30	30	30	32	32
w	150	170	190	205	230	245	275	290	335	375	425
x	250	295	330	355	370	400	430	440	512	590	690
y	105	115	150	170	220	240	250	340	390	430	560
z	50	50	60	70	85	100	130	160	210	270	330

Das Fundament ist bis auf gewachsenen Boden zu führen; die Fundamenttiefe darf aber nicht weniger als Maass d betragen.



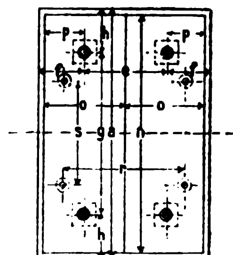
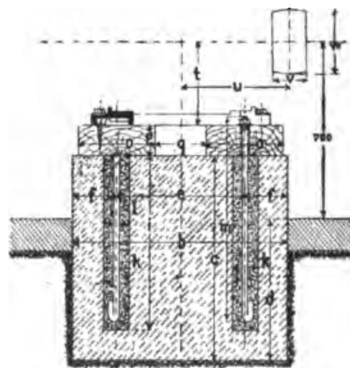


Fig. 35 und 36.



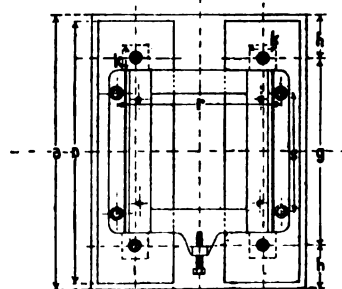


Fig. 37 und 38.

Maasse der Fundamente mit Schlitten für Dynamo und Motoren A_3 bis J.

Maasse in Millimeter. (Fig. 37 und 38.)

Modell	A_3	A_2	A_1	B	C	D	E	F	G	H	J
a	760	810	860	920	960	1000	1080	1120	1270	1370	1510
b	540	600	660	690	740	800	840	880	1002	1100	1210
c	800	800	800	800	800	800	800	800	800	800	800
d	390	410	435	470	500	515	550	570	620	660	715
e	300	340	380	410	420	480	500	540	662	740	850
f	120	130	140	140	160	160	180	170	170	180	180
g	440	490	540	590	630	670	740	780	930	1010	1150
h	160	160	160	165	165	165	170	170	170	180	180
i	680	680	680	680	680	680	680	680	680	680	680
k	80	80	80	90	90	90	100	100	100	110	110
l	16	16	16	19	19	22	22	26	26	29	29
m	750	750	750	800	800	800	800	800	800	800	800
n	720	770	820	880	920	960	1040	1080	1230	1330	1470
o	200	220	240	240	280	280	300	300	300	320	320
p	100	100	100	120	120	120	120	120	120	120	120
q	100	120	140	170	140	200	200	240	362	420	530
r	390	440	496	520	570	610	640	670	776	850	960
s	240	290	330	360	400	420	470	500	630	670	800
t	190	210	235	250	280	295	330	350	400	440	495
u	250	295	330	355	370	400	430	440	512	590	690
v	50	50	60	70	85	100	130	160	210	270	330
w	105	115	150	170	220	240	250	340	390	430	560

Das Fundament ist bis auf gewachsenen Boden zu führen; die Fundamenttiefe darf aber nicht weniger als Maass d betragen.

Tafel 11 und 12.

Zweipolige Flachring-Maschine.

Hauptstrom-Schaltung.

e = 65 V; i = 12 A; ei = 780 Watt; n = 1600; Kraftbedarf = 1,5 P.S.

Die auf den Tafeln dargestellte Maschine bietet nur ein historisches Interesse. Sie entspricht einer wirklichen Ausführung, welche vortrefflich funktionierte und bedeutend überlastet werden konnte, ohne übermässig warm zu werden. Jedenfalls haben wir es hier aber mit einer reinen Modell-Arbeit zu thun; an der Schaffung dieser Maschine hat die Theorie gewiss keinen Anteil.

Diese wenig wertvolle Konstruktion wurde deswegen mit aus der ersten Auflage herübergenommen, weil dieselbe nach den in letzterer gegebenen Vorlagen vielfach von Nichtfabrikanten ausgeführt wurde und für solche Zwecke können wir sie auch bestens empfehlen. Der Wirkungsgrad ist nicht besonders befriedigend; immerhin aber noch annehmbar; die Funktion bei sonst richtiger Ausführung tadellos.

Wir beschränken uns aus dem oben angegebenen Grunde darauf, hier nur die gemessenen Konstruktions-Ziffern folgen zu lassen.

Die Maschine war nach Angabe des Fabrikanten für eine Leistung von (65 × 12 =) 780 Watt gebaut und es waren zum Antrieb rund 1,5 P.S. bestimmt.

Der Flachring besteht aus konzentrischen Eisenblechen und Papierzwischenlagen. Es sind 22 Kupferdraht-Spulen mit je 12 Lagen nebeneinander und je 4 Lagen übereinander aufgewickelt. Sowohl die Drahtlagen am Anker als auch die der Elektromagnete sind in Sektionen geteilt, sodass verschiedene Kombinationen gebildet werden können.

Der innere Anker-Radius	58 *mm*
» äussere »	132 »
Die Breite des Ankers	45 »
Drahtlänge einer Spule	9 *m*
Gesamt-Drahtlänge (Spulen samt Kollektor-Zuführung)	270 »
Durchmesser des Drahtes, blank	1 *mm*
» » » umsponnen	1,5 »
Gesamt-Gewicht des Ankerdrahtes	1,8846 *kg*
Gesamt-Widerstand an den Bürsten	1,722 Ohm
Eisen im Anker	7 *kg*

Die Elektromagnete.

Querschnitts-Durchmesser des Eisenkernes	60 *mm*
Länge des Eisenkernes	90 »
Stärke des Joches	22 »
Durchmesser des Drahtquerschnittes, blank	2,2 »
» » » umsponnen	2,9 »

Gesamt-Drahtlänge	440 *m*
Lagen nebeneinander	30
Lagen übereinander	12
Gewicht des Drahtes	14,87 *kg*
Eisengewicht	31 *kg*.

Die Tafel 12 zeigt die Zeichnungen der einzelnen Teile dieser Maschine.

Wenn man diese Maschine in diesen Abmessungen ausführt und die vorstehenden Berechnungen anderer Maschinen berücksichtigt, so kann man mit diesen Kupfer- und nur wenig vermehrten Eisenmassen eine Maschine von viel höherer Leistungsfähigkeit aufbauen. Die Tafeln sollen übrigens zeigen, wie man früher Dynamos konstruierte, und erläutern, wie man aus einer Konstruktions-Zeichnung die Werkstätten-Zeichnungen anfertigt.

2. Teil.

Vierpolige Gleichstrommaschinen.

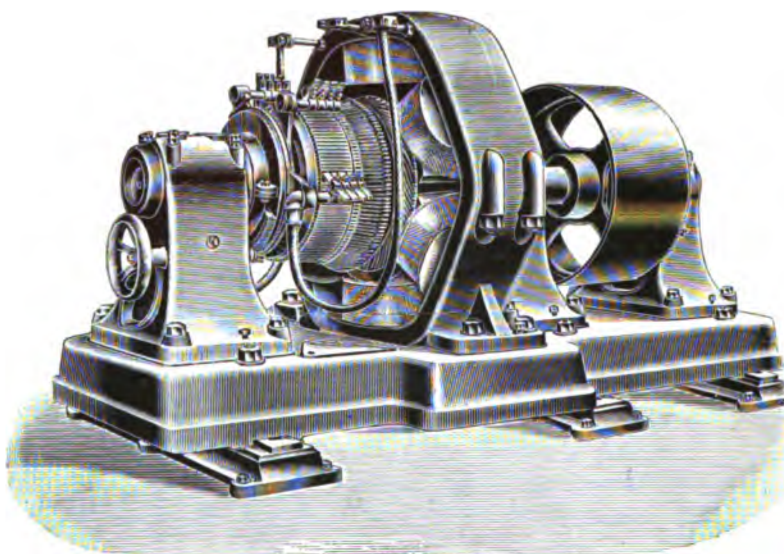


Fig. 39.

Tafel 13.

Vierpolige Nebenschlussmaschine mit Trommelanker
(30 K. W. Leistung).

1. 120 Volt, 250 Amp. (für direkten Lichtbetrieb).
2. 178 » 168 » (für Ladung von Akkumulatoren).

$$n = 600.$$

Es wird ein Joule'scher Wirkungsgrad von 0,94 verlangt, d. h. der Verlust durch Stromwärme in den Ankerdrähten und in den Elektromagnetspulen soll nicht mehr als 6% der Nutzleistung $e\,i$ betragen. Der Verlust

$$V = 0{,}06\ e\,i = 0{,}06 \times 30000 = 1800 \text{ Watt.}$$

Verteilt man diesen Verlust gleichmässig auf Anker und Magnetspulen, so ist der Ankerverlust

$$V_1 = J_1{}^2 R_1 = 900 \text{ Watt.}$$

Erfahrungsgemäss nimmt man J_2, den Strom im Nebenschluss, bei Maschinen dieser Leistung ungefähr 3% vom Ankerstrom J_1, welcher angenähert gleich ist dem Aussenstrom i, sodass

$$J_1 = i + J_2 = 250 + 0{,}03 \times 250 = 257{,}5 \text{ Ampère.}$$

Hieraus folgt, dass der Ankerwiderstand

$$R_1 = \frac{V_1}{J_1^2} = \frac{900}{257{,}5^2} = \frac{900}{66306} = 0{,}0136 \text{ Ohm}$$

und somit der Spannungsverlust im Anker

$$E - e = J_1 \times R_1 = 257{,}5 \times 0{,}0136 = 3{,}5 \text{ Volt}$$

sodass

$$E = 120 + 3{,}5 = 123{,}5 \text{ Volt.}$$

Berechnung des Ankers (Quadrat-Trommelanker).

Faustformeln für den äusseren Ankerdurchmesser, wie:

$$D_a = k \sqrt[3]{\frac{E\,J_1}{\varphi\, n}}, \text{ wobei } k = 11, \quad \varphi = \frac{L}{D_a} = 1$$

oder

$$D_a = k \sqrt{\frac{E\,J_1}{n_1\, L}}, \text{ wobei } k = 4{,}1, \quad L = D_a$$

würden einen Ankerdurchmesser von 41 bezw. 37 *cm* ergeben. Auch die Forderung einer genügenden Abkühlung des Ankers, wonach

Ankeroberfläche = 7 × Joule'scher Verlust in der Ankerwickelung,

würde einen ungefähren Durchmesser von 37 *cm* gestatten:

$$O = 7 \times 900 = 6300$$

$$O = D_a \pi L + 2 \times \frac{D_a^2 \pi}{4} = D_a^2 \pi \times \frac{3}{2}$$

$$\frac{3}{2} D_a^2 \pi = 6300$$

demnach würde

$$D_a = 36{,}6 \text{ cm.}$$

Dennoch wählen wir einen Durchmesser von 46 *cm*; weil sonst, wie die Tafel zeigt, bei Anwendung eines gusseisernen Magnetgestelles und der dadurch bedingten breiten Pole ein Aufbringen der fertig gewickelten Elektromagnetspulen auf die Pole nicht mehr möglich wäre.*) Dann erhalten wir auch für die Umfangsgeschwindigkeit, die nach Thomson

$$v = \frac{15\,e\,i}{e\,i + 1} = \frac{15 \times 30000}{30000 + 1} = 14{,}9$$

betragen soll, einen passenden Wert, nämlich:

$$v = \frac{D_a \pi n}{60} = \frac{0{,}46 \times 3{,}14 \times 600}{60} = 14{,}4 \text{ Sek./m.}$$

Nimmt man zum Aufbau des Ankers Eisenbleche von 0,6 *mm* Stärke, die gefirnisst eine Stärke von 0,7 *mm* besitzen, so braucht man

$$\frac{460}{0{,}7} = 657 \text{ Eisenbleche,}$$

und das Verhältnis des nutzbaren Eisenquerschnittes zum thatsächlichen Querschnitt wird

$$\frac{657 \times 0{,}6}{460} = \sim 0{,}86$$

sodass bei einem inneren Ankerdurchmesser

$$D_i = 0{,}6\, D_a = 0{,}6 \times 46 = \sim 28 \text{ cm}$$

der Ankerquerschnitt

$$Q_1 = (46 - 28) \times 46 \times 0{,}86 = \sim 710 \text{ qcm wird.}$$

---

*) In diesem Stadium der Berechnung liegt eigentlich noch keine Skizze vor. Es ist aber zu bedenken, dass dem Entwurf einer Dynamokonstruktion eine Menge von Überlegungen und Betrachtungen vorausgehen, und dass zur Zeit, wenn der Konstrukteur daran geht, die Berechnung in obiger Form niederzuschreiben, das Idealbild der Maschine bereits fertig ist.

Der für die Berechnung der elektromotorischen Kraft in Betracht kommende Kraftstrom (die Ankerteile sollen parallel geschaltet werden) ist:

$$\Phi = B_1 Q_1.$$

Um in dem gusseisernen Magnetgestelle auf nicht zu hohe Induktionen zu kommen, und da man in diesem Falle nicht über $\Phi = 4000000$ gehen kann, wird die Ankerinduktion bei dem gewählten Ankerquerschnitt ziemlich klein, nämlich:

$$\frac{4000000}{710} = 5650.$$

(Erscheint dieser Wert zu klein, so kann man durch Vergrösserung des inneren Ankerdurchmesers den Ankerquerschnitt verringern.)

Aus der Beziehung

$$E = \Phi n_1 N 10^{-8}$$

folgt nun die Zahl der an der Peripherie des Ankers aufzubringenden Drähte

$$N = \frac{E}{n_1 \Phi \times 10^{-8}} = \frac{123,5}{19 \times 4 \times 10^6 \times 10^{-8}} = \sim 312.$$

Das sind 156 Windungen, die in 52 Spulen zu je 3 Windungen oder besser in 78 Spulen zu je 2 Windungen anzuordnen sind.

Die Länge eines Leiters beträgt:

$$l = (L + D_a) + 10\% = 2 \times 46 + 0,1 \times 2 \times 46 = \sim 100\ cm.$$

Der Querschnitt des Ankerdrahtes wird:

$$q = \frac{N l}{i R_1 p^2} \quad p = \text{Zahl der Pole}$$

$$q = \frac{312 \times 1}{55 \times 0,0136 \times 4^2} = 26\ qcm.$$

Verwenden wir zwei parallel geschaltete Kupferdrähte von rechteckigem Querschnitt 3×4 *mm* blank und $3,6 \times 4,6$ *mm* umsponnen, so ist der Kupferquerschnitt $= 2 \times 3 \times 4 = 24$ *qmm*, was vollkommen genügt, da der Ankerwiderstand unbedenklich etwas höher genommen werden kann, vor allem aber die Länge eines Ankerleiters, namentlich bei Anwendung eines Hilfskollektors, oben sehr reichlich in Rechnung gesetzt wurde.

Die Stromdichte im Ankerdraht beträgt dann:

$$\frac{\frac{1}{4} 257,5}{24} = 2,7\ \text{Ampère}/qmm.$$

Die Drähte verlangen, mit der breiten Seite auf die glatte Ankerfläche gelegt, einen Raum von $312 \times 4,6 = 1435$ *mm*, während der Ankerumfang $460 \times \pi = 1445$ *mm* beträgt.

Der Raum zwischen Ankereisen und Polschuh wird 0,5 *mm* für Isolation, 1,5 *mm* für Bandagen und 4 *mm* für Luftraum gerechnet:

$$L_2 = 0,5 + 2 \times 3,6 + 1,5 + 4 = 13,2\ mm.$$

Berechnung der Ampère-Windungen.

Wir wollen dazu die statische Charakteristik Fig. 1, Tafel 23 verwenden.

Grundgleichung:

$$A.W. = 0,8\ H \times L_{cm}.$$

Wir betrachten natürlich nur einen magnetischen Kreis (Fig. 40) und berechnen nacheinander die für Anker, Luft und Magnetgestelle erforderlichen Ampère-Windungen, wobei der zugehörige Wert von Φ im Anker $= 2000000$ ist.

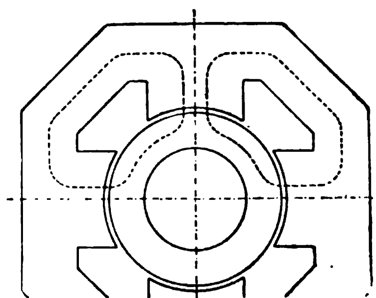


Fig. 40.

I. Für 120 Volt.

1. Anker. $B_1 = 5650$, $(H = 2)$.

Länge des Kraftlinienweges $L_1 = \sim 29$ *cm*.

$A.W_1 = 0{,}8\,H \times L_1 = 0{,}8 \times 2 \times 29 = 46$.

2. Magnetgestelle (Gusseisen).

Entsprechend der Länge l des Ankers wird das Magnetgestelle gegenüber dem Anker 45 *cm* lang. Geben wir dem Polbogenwinkel 61°, so wird die Breite eines Poles 24 *cm* und nimmt man dieselbe Breite (12 *cm*) auch für das Joch, so ergiebt sich ein Querschnitt $Q_3 = 12 \times 45 = 540$ *qcm* für einen magnetischen Kreis. Bei einem Streuungskoëffizienten von 1,3 ist im Magnetgestelle $\Phi_1 = 1{,}3 \times 2 \times 10^6 = 2{,}6 \times 10^6$.

Demnach wird die Induktion

$$B_3 = \frac{2{,}6 \times 10^6}{540} = 4800, \qquad (H = 13).$$

Der Kraftlinienweg $= \sim 92$ *cm*,

sodass $A.W_3 = 0{,}8 \times 13 \times 92 = 960$.

3. Luft. Der Luftquerschnitt ist:

$$Q_2 = \frac{D_a + D_p}{2} \times \pi \times \frac{\gamma}{360} \times L; \qquad D_p = \text{Durchmesser der Magnetpolbohrung}, \; \gamma = \text{Polbogenwinkel}.$$

$$= \frac{46 + 48{,}64}{2} \times \pi \times \frac{61}{360} \times 46 = 1160 \; qcm.$$

Nehmen wir wegen der Streuung 1200 *qcm* an, so wird

$$B_2 = \frac{2 \times 10^6}{600} = 3330$$

und $A.W_2 = 0{,}8 \times 3330 \times 2 \times 1{,}32 = 7000$.

4. Ankerreaktion.

Nehmen wir an, dass die Bürsten im Maximum um den Winkel β bis an die Polspitzen verschoben würden, so sind zur Kompensierung der Ankerreaktion aufzuwenden:

$$\frac{2\beta}{360} \times \frac{J_1}{4} \times 312; \qquad z = 312 = \text{Zahl der Leiter}$$

$$= \frac{29}{360} \times \frac{257}{4} \times 312 = 1620 \text{ Ampère-Windungen.}$$

Wir brauchen also, um 120 Volt zu erzeugen, an A.W. für

den Anker	46
das Magnetgestelle	960
die Luft	7000
die Ankerreaktion	1620
Zusammen	9626 Ampère-Windungen.

II. Für 180 Volt.

Erforderliche Zahl von Kraftlinien:

$$\Phi_2 = \frac{180}{120} \times \Phi_1 = \frac{3}{2} \times 4 \times 10^6 = 6 \times 10^6$$

demnach 3×10^6 für einen magnetischen Kreis.

1. Anker:
$$B_1 = \frac{3 \times 10^6}{\frac{710}{2}} = 8450, \qquad (H = 3{,}5)$$

$$0{,}8 \times 3{,}5 \times 29 = 81.$$

2. Magnetgestelle: $$B_s = \frac{3 \times 1{,}3 \times 10^6}{540} \qquad (H = 52)$$

$$0{,}8 \times 52 \times 92 = 3840.$$

3. Luft: $$B_2 = \frac{3 \times 10^6}{600} = 5000.$$

$$0{,}8 \times 5000 \times 2{,}64 = 10560.$$

4. Ankerreaktion:

$$\frac{29}{360} \times \frac{168}{4} \times 312 = 1055.$$

Wir brauchen also, um 180 Volt zu erzeugen, an A.W. für

den Anker	81
das Magnetgestelle	3840
die Luft	10560
die Ankerreaktion	1055
Zusammen	15536 Ampère-Windungen.

Bei Anwendung einer Polbuchse nimmt diese als magnetischer Nebenschluss soviel Einheiten auf, als der Sättigung des Buchsenquerschnittes entsprechen. Diese Einheiten gehen für den Anker verloren, dafür wird aber die Streuung nach aussen eine bedeutend kleinere, sodass die Zahl der nötigen Ampère-Windungen nicht vergrössert werden muss.

Die aus obiger Rechnung sich ergebende Ampère-Windungszahl gilt für zwei Spulen, sodass für alle vier hintereinander geschaltete Spulen die doppelte Zahl nötig ist.

Zur Bestimmung der Windungszahl der Spulen ist die Kenntnis der Stromstärke und dann die des Spulenwiderstandes erforderlich.

Oben war angenommen worden, dass J_2 ungefähr 3% von i beträgt, d. s. 7,5 Ampère, sodass $$R_2 = \frac{120}{7{,}5} = 16 \text{ Ohm.}$$

Anderseits sind als Joule'scher Verlust in den Spulen 900 Watt zulässig. Also:

$$J_2{}^2 R_2 = \frac{e^2}{R_2} = 900 \text{ Watt}$$

$$R_2 = \frac{e^2}{900} = \frac{120^2}{900} = 16\ \Omega.$$

Als Windungszahl für eine Spule ergiebt die Rechnung:

$$\frac{2 \times 9650 \times 16}{4 \times 120} = \sim 640.$$

Für die Spannung von 180 Volt und die zugehörigen 2×15550 Ampère-Windungen ist bei 4×640 Windungen:

$$J_2 = \frac{15550}{2 \times 640} = 12{,}3 \text{ A}$$

und

$$R_2 = \frac{180}{12{,}3} = 14{,}6\ \Omega,$$

während für 120 Volt

$$J_2 = \frac{9650}{2 \times 640} = 7{,}55 \text{ A}$$

und

$$R_2 = \frac{120}{7{,}55} = 15{,}9\ \Omega.$$

Giebt man jeder Spule einen Widerstand von 3,5 Ω, zusammen also $R_2 = 4 \times 3{,}5 = 14\ \Omega$, so muss der Regulierwiderstand innerhalb 0,6 und 1,9 Ω variiert werden können, damit man die Maschine von 120 Volt auf 180 Volt erregen kann.

Um den Drahtquerschnitt zu bestimmen, muss die mittlere Länge einer Windung bekannt sein. Der Querschnitt des Poles ist 45 × 24 *qcm.* Rechnet man auf jeder Seite zwischen Eisen und erster Windungslage eine Isolation von 0,4 *cm,* so beträgt der Umfang der untersten Windungslage

$$U = 2\,(45 + 0{,}8 + 24 + 0{,}8) = 141{,}2 \ cm.$$

Nach einer vorläufigen Annahme betrage nun die Höhe H des Wickelungsraumes 7,6 *cm*; dann ist die Länge einer mittleren Windung $= U + 4\,H$, also

$$l_m = 141{,}2 + 4 \times 7{,}6 = 171{,}6 \ cm = 1{,}716 \ m.$$

Hieraus

$$\varrho = \frac{l_m\, z}{\lambda\, q_m}$$

$$q_m = \frac{l_m\, z}{\lambda\, \varrho} = \frac{1{,}716 \times 640}{50 \times 3{,}5} = 6{,}27 \ qmm.$$

Folglich $d = 2{,}82 \ mm$

und $d_1 = 3{,}5 \ mm.$

Bei einer Höhe h und einer Länge l der Spule besteht, wenn man das Einsinken der Drähte einer Windungslage in die darunter liegende mit dem Koëffizienten 0,9 in Rechnung zieht, die Beziehung:

$$l\,h = z\ d_1\ d_1\ 0{,}9$$

sodass

$$l = \frac{z \times 0{,}9\, d_1^2}{h} = \frac{640 \times 0{,}9 \times \overline{3{,}5}^2}{76} = 93 \ mm.$$

Es liegen also 93 : 3,5 = 26,5 Drähte nebeneinander, d. h. die unterste Lage, dann die zweitnächste, viertnächste etc. enthalten 27 Drähte, die dazwischen liegenden Lagen dagegen 26 Drähte.

Übereinander liegen $\dfrac{76}{0{,}9 \times 3{,}5} = 24$ Drähte

$$26{,}5 \times 24 = 640.$$

Berechnung des Wirkungsgrades.

I. Für $e = 120$ V; $i = 250$ A; $J_1 = 257{,}55$ A; $J_2 = 7{,}55$.

1. Joule'scher Verlust.

a) Im Anker:

$$J_1^2 R_1 = 257{,}55^2 \times 0{,}0136 = 902 \text{ Watt} = 3{,}00\,\%.$$

b) In den Elektromagnetspulen:

$$J_2^2 R_2 = 7{,}55^2 \times 15{,}9 = 906 \text{ Watt} = 3{,}02\,\%.$$

2. Hysteresis-Verlust:

$$V_H = \eta\ V\ \frac{p}{2}\ \frac{n}{60}\ B_1^{1,6}\ 10^{-7}$$

$\eta = 0{,}0035$;

V = Volumen des Ankereisens in *ccm*

$\dfrac{p}{2}\ \dfrac{n}{60}$ = Polwechselzahl; p = Polzahl

$$V = (D_A^2 - D_i^2)\ \frac{\pi}{4}\ L\ 0{,}86$$

$$= (46^2 - 28^2)\ 0{,}785 \times 45 \times 0.86 = 40\,500 \ ccm.$$

Demnach ist der Hysteresis-Verlust:

$$V_H = 0{,}0035 \times 40\,500 \times \frac{6}{2} \times \frac{600}{60} \times 5650^{1,6} \times 10^{-7}$$

$$V_H = 429 \text{ Watt} = 1{,}43\,\%.$$

3. Wirbelstrom-Verlust:

$$V_W = 1{,}645 \times d^2 \left(\frac{p}{2} \times \frac{n}{60}\right)^2 \times B^2 \times V \times 10^{-11}$$

d = Stärke der Blechscheiben in *cm*

$$V_W = 1{,}645 \times 0{,}06^2 \times \left(\frac{6}{2} \times \frac{600}{60}\right)^2 \times 5650^2 \times 40500 \times 10^{-11}$$

$$V_W = 69 \text{ Watt.}$$

Der thatsächliche Wirbelstrom-Verlust ist meistens etwas grösser als diese Formel ergiebt. Nehmen wir ihn zu 135 Watt, d. h. zu ca. 30 % des Hysteresis-Verlustes, an, so sind dies 0,45 % der Leistung.

4. Mechanischer Verlust:

Dieser durch Lager-Reibungen, Luftwiderstand etc. entstehende Verlust kann nur geschätzt werden, und zwar für eine Maschine von dieser Grösse zu 450 Watt = 1,5 %.

Die Summierung dieser Verluste ergiebt 9,4 % der Leistung von 30 Kilowatt. Der Gesamtwirkungsgrad der Maschine beträgt also bei 120 Volt:

$$\eta = 0{,}906.$$

II. Für e = 180 V; i = 168 A; $J_1 = 180{,}3$; $J_2 = 12{,}3$.

1. Joule'scher Verlust.

a) Im Anker:

$$J_1^2 R_1 = \overline{180{,}3}^2 \times 0{,}0136 = 442 \text{ Watt} = 1{,}47\,\%$$

b) In den Elektromagneten:

$$J_2^2 R_2 = \overline{12{,}2}^2 \times 14{,}6 = 2200 \text{ Watt} = 7{,}34\,\%.$$

2. Hysteresis-Verlust:

$$V_H = 0{,}0035 \times 40500 \times 30 \times 8450^{1{,}6} \times 10^{-7}$$

$$V_H = 816 \text{ Watt} = 2{,}72\,\%.$$

3. Wirbelstrom-Verlust:

$$V_W = 1{,}645 \times \overline{0{,}06}^2 \times \left(3 \times \frac{600}{60}\right)^2 \times 8450^2 \times 40500 \times 10^{-11}$$

$$V_W = 154 \text{ Watt.}$$

Wir nehmen auch hier ca. 30 % des Hysteresis-Verlustes, also einen höheren Wert als den berechneten, nämlich:

250 Watt = 0,834 %.

4. Mechanischer Verlust:

Geschätzt: 450 Watt = 1,5 %.

Die Summe der Verluste beträgt jetzt 13,86 %, sodass der Wirkungsgrad der Maschine bei 180 Volt beträgt:

$$\eta = 0{,}861.$$

Tafel 14.

Vierpolige Gleichstrom-Dynamomaschine (System Kummer).

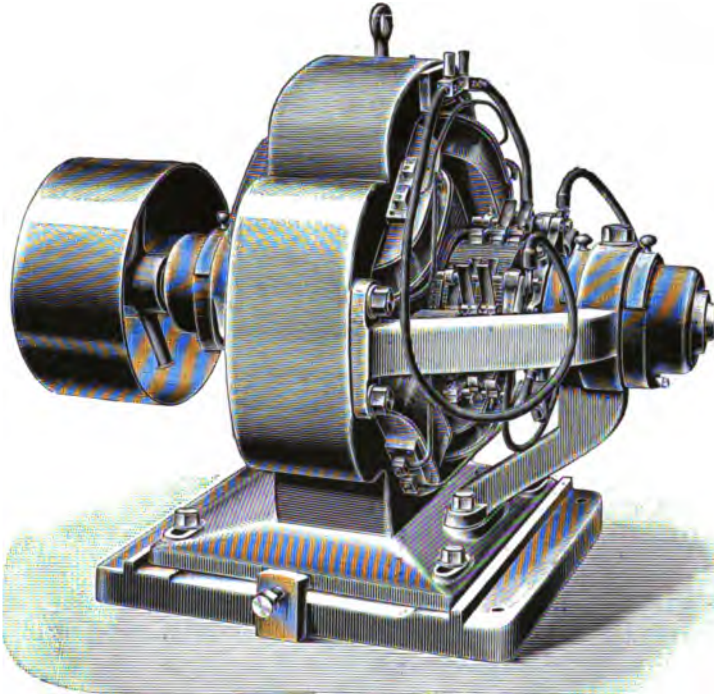


Fig. 41.

I. Nebenschluss-Wickelung.

A. Maximale Dauerleistung bei unveränderlicher Spannung:

$$e = \begin{cases} 67 \\ 120 \end{cases} \text{V}; \quad i = \begin{cases} 625 \\ 350 \end{cases} \text{A}; \quad ei = 42000 \text{ Watt}; \quad n = 630;$$

$$\text{Kraftbedarf} = 62 \text{ P.S.}; \quad \eta = 0{,}925.$$

B. Maximale Dauerleistung bei veränderlicher Spannung für Akkumulatoren- und Lichtbetrieb.

$$e = \begin{cases} 67/88 \\ 120/160 \end{cases} \text{V}; \quad i = \begin{cases} 525/485 \\ 290/260 \end{cases} \text{A}; \quad ei = 42000 \text{ Watt}; \quad n = 630;$$

$$\text{Kraftbedarf bei} \begin{cases} 67 \\ 120 \end{cases} \text{Volt} = 50 \text{ P.S.}$$

$$\eta = 0{,}925.$$

$$\text{Kraftbedarf bei} \begin{cases} 88 \\ 160 \end{cases} \text{Volt} = 62 \text{ P.S.}$$

Für A. und B. giltig.

Watt pro 1 P.S.	=	680 *mm*
Riemengeschwindigkeit	=	18 *m*/Sek.
Riemenscheiben- Breite	=	540 *mm*
Riemenscheiben- Durchmesser	=	330 »
Riemen- Breite	=	320 »
Riemen- Dicke	=	7,5 »
Gewicht bei Riemenbetrieb	=	3100 *kg*
Grösste Länge	=	1700 *mm*
» Breite	=	1275 »
» Höhe	=	1300 »

Für höhere Spannungen:

e = 250 Volt für Dreileiter-System ohne Akkumulatoren, oder
e = 240/320 » » » mit »

$i = \begin{cases} 168 \\ 145/124 \end{cases}$ A; ei = 42000 Watt; n = 630

Kraftverbrauch = $\begin{cases} \text{62 P.S. bei 250 Volt;} \\ \text{58 » » 240 bis 270 Volt;} \\ \text{62 » » 320 Volt;} \end{cases}$ $\eta = 0{,}925$

Die anderen Maasse bleiben wie oben.

II. Nebenschluss-, Compound- oder Hauptstrom-Wickelung.

Für 550 Volt	Für 1000 Volt	Für 1500 Volt
e = 500 V	e = 1000 V	e = 1500 V
i = 84 A	i = 30 A	i = 24,7 A
ei = 42000 Watt	ei = 39000 Watt	ei = 37000 Watt
n = 630	n = 630	n = 630
η = 0,925	η = 0,91	η = 0,88
pro 1 P.S. = 680 Watt	pro 1 P.S. = 670 Watt	pro 1 P.S. = 650 Watt.

Die Berechnungen für alle diese Fälle dürften nach der sehr ausführlichen Rechnung zur Tafel 13 ohne Schwierigkeiten durchzuführen sein, und bemerken wir nur im Allgemeinen, dass bei dieser Maschinen-Type »Zeta« der A.-G. Elektricitäts-Werke (vorm. O. L. Kummer & Co.) in Niedersedlitz der Magnetrahmen, wie die Tafel zeigt, mit der Grundplatte aus einem Stück (Façonguss) gegossen ist. Das Magnetgestelle markiert deutlich die verschiedenen Kraftströme; denn am Joch springt das Eisen des Rahmens, dort wo die Eisenkerne nach innen hervortreten, ein, wodurch ohne Verringerung des nützlichen Querschnittes an Guss gespart wird. Die Maschine erhält infolge des grossen Luftraumes im Anker eine bedeutende Kühlung. Die Magnetkerne und Polschuhe haben Schlitze, um die quermagnetisierende Wirkung der Ankerspulen abzuschwächen.

Für eine solche Maschine giebt die Firma »Kummer« bezüglich der elektrischen Teile folgende Daten:

e = 120 Volt; i = 400 A; ei = 48000 Watt; n = 250.

Der Anker ist ein vierpoliger Ring mit Parallelschaltung und 200 Windungen. Er hat 200 Nuten, die 6 *mm* breit und 20 *mm* tief sind. Die Windungen werden aus Stäben gebildet, welche nach der Innenseite mit Drähten verbunden werden.

Die Abmessungen der Stäbe = 2/15 *mm*
» » » Drähte = 5 » Durchmesser blank
= 6,1 » » umsponnen.

Die vier Elektromagnetspulen haben je

$$\frac{2760}{4} = 690 \text{ Windungen,}$$

eines Drahtes, der blank 2,8 *mm*
umsponnen 3,4 » Stärke hat,
$J_2 = 8,4$ A.

Tabelle

über die vierpoligen Dynamomaschinen der A.-G. Elektrizitäts-Werke (vorm. O. L. Kummer & Co.) (Type Zeta).

Modell-Bezeichnung	Elektrische Leistung Watt	Wird gebaut für Spannungen von Volt	bis Volt	Arbeitsverbrauch P.S.	Tourenzahl in 1 Min.	Dimensionen in *mm* Länge	Breite	Höhe	Gewicht *kg*
F	14 000	67	320	22	900	1175	900	900	1150
G	20 000	67	320	30	780	1250	1000	1000	1600
H	30 000	67	320	45	710	1510	1125	1150	2200
I	42 000	67	320	62	630	1700	1275	1300	3100
K	54 000	67	320	79	550	2500	1375	1475	4000
L	66 000	67	320	96	500	2650	1425	1480	4900
M	78 000	67	320	114	450	2800	1450	1500	6000
N	90 000	67	320	132	340	2900	1700	1800	8200
O	105 000	67	320	155	260	3000	1900	2000	10000
P	140 000	67	320	205	230	3100	2200	2300	12500
Q	180 000	67	320	265	200	3250	2500	2600	16000
R	235 000	67	320	350	170	—	—	—	—
S	300 000	67	320	440	150	—	—	—	—
T	400 000	67	320	590	120	—	—	—	—

Tafel 15.

Vierpolige Gleichstrom-Dynamo mit zwei Erregerspulen (System Brown, Boveri & Co).

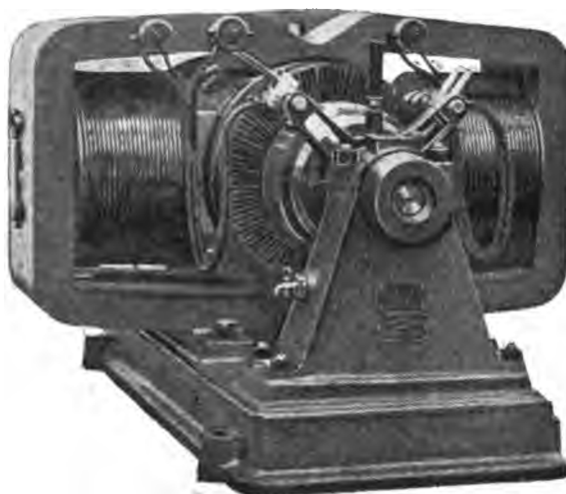


Fig. 42.

e = 115 V; i = 87 A; ei = 10000; n = 1000;
Kraftverbrauch = 16 P.S.

Es ist nicht allgemein bekannt, wer eigentlich zuerst vierpolige Dynamos mit nur zwei Erregerspulen baute, jedenfalls aber hat die oben genannte Firma infolge wohldurchdachter und gelungener Konstruktion auf diesem Gebiete, wie allgemein anerkannt wird, treffliche Maschinen geliefert.

Von den vier Elektromagnetkernen sind zwei gegenüberstehende genügend lang, um die Erregerspulen zu tragen. Die letzteren sind derart gewickelt, dass sie gleichnamige Pole erregen. Die beiden anderen Eisenkerne erscheinen verkümmert, es ist aber klar, dass sie ebenfalls gleichnamige Pole, aber von entgegengesetzten Vorzeichen zu den vorerwähnten bilden. Dadurch wird die Maschine einfacher, leichter und billiger in der Herstellung. Das Eisengerüste ist aus Gussstahl verfertigt und so günstig geformt, dass die Streuung gering wird, obwohl die Maschine mit hoher Sättigung arbeiten muss. Der Trommel-Anker trägt die Drähte in der sogenannten Mordey-Schaltung. Die Berechnungsart des elektrischen und des magnetischen Teiles unterscheidet sich in nichts von der auf Seite 61 ff. gezeigten und kann daher hier unterbleiben.

Die nachstehende Tabelle zeigt die verschiedenen Grössen, in welchen solche Maschinen gebaut werden.

Tabelle.

Dynamomaschinen von Brown, Boveri & Co. in Baden bei Zürich.

Modell-Bezeichnung	Elektrische Leistung Watt	Stromstärke bei 115 V Spannung Amp.	Arbeitsverbrauch P. S.	Tourenzahl in 1 Min.	Gewicht *kg*	Anzahl der Pole
N 00	1000	8,7	1,7	2200	110	4
» 0	2500	21,7	4,0	1700	200	4
» 1	5000	43,5	8	1400	320	4
» 2	7500	65	12	1200	450	4
» 3	10000	87	16	1000	600	4
» 4	15000	130	23	800	820	4
» 5	20000	174	30	700	1100	4
» 6	30000	260	45	650	1600	4
» 7	40000	347	60	600	2200	4
R 1	50000	435	75	500	3300	4
» 2	80000	695	120	450	4700	4
» 3	110000	957	160	400	6500	4
» 4	150000	1300	220	350	8500	4
» 5	200000	1740	300	280	11000	4
S 1	205000	1780	300	135	16000	6
» 2	580000	5030	850	200	32000	8
» 3	890000	7730	1300	140	50000	12
» 4	680000	5910	1000	100	55000	16

Dazu wird bemerkt, dass die vierpoligen Maschinen der Type R (also von 50000 bis 200000 Watt) doch mit vier Spulen ausgestattet werden.

Tafel 16 und 17.

Sechspolige Nebenschluss-Dynamomaschine mit Ringanker.

Für direkten Lichtbetrieb und zum Laden von Akkumulatoren.

$e = 120$ bis 180 V; $i = 600$ bis 400 A; $ei = 70$ Kw; $n = 450$;
Kraftverbrauch ~ 100 P.S.

Die Abbildungen entsprechen einer wirklichen Ausführung. Es lagen dem Verfasser einige Detailzeichnungen und Generalansichten vor; die Fabrik gab dazu folgende Daten:

Die Spannung e	= 120 Volt.
Der Nutzstrom i	= 600 Ampère.
Die Tourenzahl n	= 450 pro Minute.
Die Zahl der Nuten am Anker . .	= 216.
Die Zahl der Drähte in jeder Nut .	= 6.
Die Drahtstärke	= 3 *mm*.

Weitere Angaben wurden nicht gemacht; auch fehlte ursprünglich die Angabe, dass die Maschine zum Laden der Akkumulatoren geeignet ist.

Es sei nun im Folgenden gezeigt, wie man die Verhältnisse, unter denen diese Maschine zu den verschiedenen Zwecken funktioniert, aus jenen wenigen Angaben ermitteln kann.

I. Der Anker.

Wir nehmen an, dass der Ankerdraht blank 3 *mm* stark ist und folgern daraus, dass die Nutenbreite ungefähr 5 *mm* messen dürfte.

Aus den Zeichnungen, die nur wenige Maasse enthielten, war anzunehmen, dass der äussere Ankerdurchmesser . . . . = 700 *mm*
innere » . . . . = 440 »
und die Länge des Ankers . . . . = 285 » ist.

Ist der Anker aus lackierten Blechen zusammengesetzt, so ist der Füllungskoëffizient = 0,88 und der Eisen-Ankerquerschnitt:

$$Q_1 = (70 - 6 - 44) \times 28{,}5 \times 0{,}88 = 500 \; qcm.$$

Nehmen wir nun vorerst an, die Maschine wäre nur für 120 Volt gebaut, so würde sie ungefähr eine E. M. K. = 125 Volt erzeugen müssen und es können dabei die in jeder Nut vorhandenen sechs Drähte

a) alle parallel, b) je 3 parallel, c) je 2 parallel, d) alle hintereinander geschaltet sein.

Bekanntlich ist

$$E = \frac{B_1 Q_1 n}{10^8 \times 60} N_a$$

also hier

$$125 = \frac{B_1 \times 500 \times 450}{10^8 \times 60} N_a$$

nnd daraus folgt, dass $B_1 N_a = 3333333$.

Nun können wir, da dieser Anker kein Serien-Anker ist, folgende Tabelle aufstellen:

$N_a =$ 216	2×216	3×216	6×216
$B_1 =$ 15420	7710	5140	2570

Sämtliche B_1 sind nicht normal. Wir vermuten daher, dass die Maschine auch zur Ladung von Akkumulatoren, also für ca. 180 Volt gebaut ist und wir erhalten nach derselben Rechnung wie oben die Tabelle:

$N_a =$ 216	2×216	3×216	6×216
$B_1 =$ 22200	11100	7733	3700

Der Wert $B_1 = 11100$ entspricht der gebräuchlichen Grösse. Wir erkennen auch, dass unsere Vermutung richtig war und dass offenbar je drei Drähte parallel geschaltet sind, dass also der Anker mit 2×216 Leitern à 3 parallelen Drähten bewickelt ist.

Von letzteren ist nur bekannt, dass sie 3 *mm* stark sind. Wir wollen unabhängig davon selbst die Drahtstärke bestimmen. Dabei sind folgende Gesichtspunkte maassgebend:

1. Die Induktion in den Zähnen darf nicht zu hoch sein und
2. Die Beanspruchung des Drahtes muss innerhalb der gebotenen Grenzen bleiben.

Der Ankerumfang am Nutengrund ist

$$= \pi (670 - 30) = \pi\, 640.$$

Geben wir jeder Nute eine Breite = 5 *mm*, so erhalten wir die

Zahnbreiten { oben . . . . . = 5,2 *mm*; unten . . . . = 4,3 » (Siehe Fig. 41); im Mittel . . . = 4,75 »

Der Polschuh fasst bei 54° Umspannung 32 Zähne, welche zusammen einen Querschnitt

$$= 28{,}5 \times 0{,}475 \times 32 \times 0{,}88 = 381 \; qcm \text{ haben.}$$

Da die Ankerinduktion mit Rücksicht auf die zu erregende E = 185 (nicht 180) Volt

$$500 \times 11400 \text{ beträgt,}$$

ist die Zahninduktion = 14900, was bei der gebotenen grossen Oberfläche zulässig erscheint.

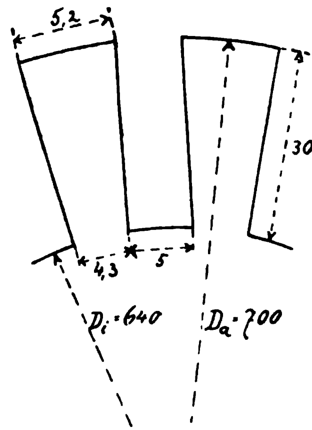


Fig. 43.

Wir würden in jede Nut sechs kantige Drähte von folgenden Abmessungen legen:

blank $2 \times 3{,}6$ *mm*
umsponnen $3 \times 4{,}6$ »

Die isolierende Ausfütterung der Nuten mit 1 *mm*-trigem Pressspan ist zu berücksichtigen.

Der Drahtquerschnitt ist nun (blank)

$$2 \times 3{,}6 \times 3 = 21{,}6 \; qmm$$

und die Drahtbeanspruchung $= \frac{100}{21{,}6} = 4{,}65$ A/*qmm*, was ohne Weiteres gut passt.

Wir können nun bestimmen:

1. Die Drahtlänge auf dem Anker:

Die Länge einer Windung . . . . . = 88 *cm*
» » der drei parallelen Drähte $= 88 \times 2 \times 216 = 380$ *m*
» Gesamtlänge des Drahtes . . . . $= 3 \times 380 = 1140$ *m*.

2. Den Anker-Widerstand:

$\frac{380}{21,6 \times 50} = 0,352$ Ohm für die Gesamtlänge der drei parallel geschalteten Drähte,

und bei Parallelschaltung der sechs Zweige wird

$$R_1 = \frac{0,352}{36} = 0,00978 \ \Omega.$$

3. Den Spannungs-Verlust im Anker:

bei 600 A (entsprechend 120 Volt) $600 \times 0,00978 = 5,9$ Volt
» 400 » (» 180 ») $400 \times 0,00978 = 3,95$ »

Wir haben also oben den Spannungsverlust ziemlich zutreffend vorausgesehen und eine rückläufige Änderung der Rechnung ist nicht nötig.

4. Den Energie-Verlust im Anker:

bei 600 A $600^2 \times 0,00978 = 3560$ Watt oder 4,9 % der Leistung
» 400 » $400^2 \times 0,00978 = 1975$ » » 2,74 % » »

5. Die Anker-Oberfläche:

aussen: $\pi \times 70 \times 35,5 = 7800$ *qcm* ($35,5 = 28,5 +$ Wickelung)
innen: $\pi \times 38,8 \times 35,5 = 4330$ »
seitlich: $2 \frac{\pi}{4} (70^2 - \overline{38,8}^2) = 5320$ »

Es sind also $\frac{17450 \text{ qcm}}{3560 \text{ Watt}} = \sim 5$ *qcm* abkühlende Oberfläche für 1 Watt vorhanden und das genügt, auch wenn wir berücksichtigen, dass die Zahninduktion von 14900 eine recht merkliche Erwärmung veranlasst, die mit ausgeglichen werden muss.

II. Der Erregermagnet.

Gegeben waren 1. alle auf das Gussstahlgestell bezüglichen Maasse und 2. die Wickelraum-Masse für die einzelnen Spulen.

A. Die Ampère-Windungen.

Wir haben oben berechnet, dass im Ankereisen

$B_1 = 11400$ sein muss, wenn $E = 185$ V werden soll
und $B_1 = 7770$ » » » $E = 125$ » » »

Laut der Tafel 16 ist die Weglänge im Anker

$$L_1 = 28 \ cm.$$

Die Magnetisierungskurve Fig. 1, Tafel 23 zeigt, dass für

$B_1 = 11400$ $0,8 H = 5$ und
$= 7770$ $0,8 H = 2$ werden muss.

Für das Ankereisen brauchen wir also

$2 \times 28 = 56$ bezw.
$5 \times 28 = 140$ A.W.

Die Zähne haben $B_z = 14900$, wofür $0,8 H = 16,7$
und $B_z = 10170$, » $0,8 H = 3,8$
$L_z = 2 \times 3,0 = 6$ *cm*

daher $3,8 \times 6 = 23$ A.W.
$16,7 \times 6 = 100$ » »

Die Luft. Die Ankerzähne besitzen oben keine Verbreiterung. Ihre obere Breite ist 5,2 *mm*; bei 5 *mm* Luftraum entspricht jeder Zahnbreite am Polschuh eine Fläche von der Breite 10,33 *mm*.

Die mittlere Breite des Luftraumes zwischen einem Zahn und dem ihm zugehörigen Stück der Polschuhfläche ist also $\frac{5,2 + 10,33}{2} = 7,765$ *mm*. Da einem Polschuh 32 Zähne gegenüberliegen, so hat der zwischenliegende Luftraum eine Fläche $Q_2 = 32 \times 0,7765 \times 28,5 = 708$ *qcm*.

Wegen der seitlichen Streuung setzen wir aber

$$Q_2 = 708 + 42 = 750 \text{ qcm}.$$

Der Weg im Luftraum ist

$$L_2 = 2\sqrt{5^2 + 1,282^2}$$
$$= 10,34 \text{ mm bezw. } 1,034 \text{ cm}.$$

Aus dem Wert für $Q_2 = 750$ *qcm* folgt, dass

bei 180 V $B_2 = 7600$ und

» 120 » $B_2 = 5170$ wird.

Wir erhalten demnach:

$$0,8 \times 7600 \times 1,034 = 6290 \text{ A.W.}$$
$$0,8 \times 5170 \times 1,034 = 4280 \text{ A.W.}$$

Die Polschuhe haben einen mittleren Querschnitt

$$Q_P = 740 \text{ qcm}$$

was geometrisch aus der Zeichnung ermittelt werden kann. Ist der Streuungskoëffizient $\nu = 1,3$, so wird

$$B_P = \frac{11400 \times 500}{740} \times 1,3 = 10000 \text{ bei 180 Volt}$$

$$B_P = \frac{7770 \times 500}{740} \times 1,3 = 6820 \text{ » 120 »}$$

Die Stahlgusskurve auf Fig. 1, Tafel 23, lässt erkennen, dass hierfür $0,8\,H = 9$ bezw. 4,2 und bei einem mittleren Weg $L_P = 5$ *cm* finden wir, dass

$$\left.\begin{array}{l} 2 \times 5 \times 9 \quad = 90 \text{ A.W.} \\ 2 \times 5 \times 4,2 = 42 \text{ A.W.} \end{array}\right\} \text{nötig sind.}$$

Auch beim Eisenkern des Magneten setzen wir $\nu = 1,3$, was sehr hoch ist, aber bleiben kann, da wir die Berechnungen der Ampère-Windungen für den Anschluss zwischen Eisenkern und Polschuh vernachlässigen wollen.

$$Q_3 = 480 \text{ qcm}$$

$$B_3 = \frac{11400 \times 500}{480} \times 1,3 = 15430; \qquad 0,8\,H = 72;$$

$$B_3 = \frac{7770 \times 500}{480} \times 1,3 = 10500; \qquad 0,8\,H = 10,5;$$

L_3 (für die zwei Kerne) = 36 *cm*.

Daraus folgt, dass hierfür $36 \times 72 = 2600$ A.W.

$36 \times 10,5 = 380$ A.W. nötig werden.

Das Joch hat einen Querschnitt $Q_4 = 300$ *qcm*

$L_4 = 68,5$ *cm*.

Es wird nur vom halben Kraftfluss durchsetzt (mit $\nu = 1,1$), so dass

$$B_4 = \frac{1}{2} \times \frac{11400 \times 500}{300} \times 1,1 = 10450; \qquad 0,8\,H = 10,5$$

$$B_4 = \frac{1}{2} \times \frac{7770 \times 500}{300} \times 1,1 = 7110; \qquad 0,8\,H = 4,3$$

und daher $68,5 \times 10,5 = 720$ A.W.

$68,5 \times 4,3 = 295$ A.W.

Die Summation der nötigen Ampère-Windungen giebt also für:

$$\left.\begin{array}{lr} 180 \text{ Volt} & 100 + 140 + 6290 + 90 + 2600 + 720 = 9940 \text{ A.W.} \\ 120 \text{ »} & 23 + 56 + 4280 + 42 + 380 + 295 = 5076 \text{ A.W.} \end{array}\right\} \text{pro Kreislauf.}$$

Um der Ankerreaktion zu begegnen, erhöhen wir die Zahl 9940 nach der Formel

$$A.W_{total} = \sqrt{(A.W_{Anker})^2 + (A.W_{magnet})^2}$$

für unseren Fall

$$= \sqrt{\left(36 \times 2 \times \frac{400}{6}\right)^2 + 9940^2} = 10800 \text{ A.W.}$$

das wären also 10800 — 9940 = 860 Gegenampère-Windungen pro Kreis. Wir setzen 900 pro Kreis (d. i. etwas wenig) und erhalten dann für die drei Kreise 32500 Ampère-Windungen.

Berechnung des Spulendrahtes aus den angegebenen Abmessungen des Wickelraumes:

$$\frac{N_2}{R_2} = \frac{N_2 J_2}{R_2 J_2} = \frac{A.W.}{e} = \frac{32500}{180} = 180,7$$

$$R_2 = \frac{l_m N_2}{50 \frac{\pi}{4} d^2} \text{ und auch } = \frac{N_2}{180,7}$$

(l_m = mittlere Länge einer Windung; in unserem Falle = 1.25 *m*)

und

$$d = \sqrt{\frac{l_m \times 180,7 \times 4}{50 \pi}} = 2,4 \text{ } mm \text{ blank}$$

$$d_1 = 3,2 \text{ } mm.$$

Jede Spule hat $\frac{92,5}{3,2 \times 0,9} = 32$ Lagen à $\frac{155}{3,2} = 48$ Windungen

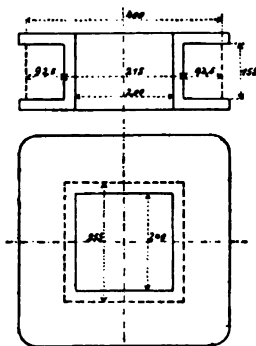


Fig. 44.

also 32 × 48 = 1536 Windungen

und alle sechs Spulen

1536 × 6 = 9216 » zusammen.

Der Strombedarf

$$J_2 = \frac{32500}{9216} = 3,54 \text{ A.}$$

Die Strombelastung $\frac{3,54}{4,5} = 0,8$ A/*qmm.*

Der Widerstand

$$R_2 = \frac{1,26 \times 9216 \times 4}{\pi \, \overline{2,4}^2 \times 50} = 51 \, \Omega.$$

Der Widerstand einer Spule $\frac{51}{6} = 8,5 \, \Omega.$

Der Wattverbrauch $= 51 \times \overline{3,54}^2 = 650$ Watt

d. s. 0,9 % der Leistung.

III. Teil.

Mehrpolige Gleichstrommaschinen.

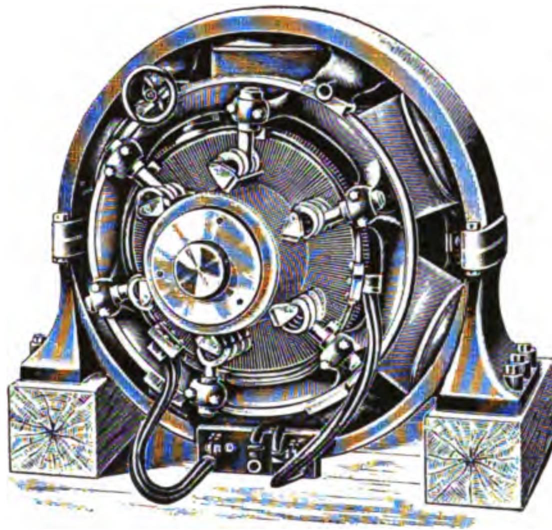


Fig. 45.

Tafel 18 und 19.

Tafel 18. **Zehnpoliger Eisenbahngenerator zur direkten Kuppelung (Compound-Schaltung).**

e = 550 V; i = 727 A; ei = ∾ 400000 Watt; n = 85 bis 90
Kraftverbrauch = ∾ 600 P.S.

(Konstruktion der Walker Co. in Cleveland-Ohio und New-Haven-Connecticut.)

Die äusseren Maasse für solche Maschinen sind aus der Tabelle Seite 84 zu ersehen und sind auch auf der Tafel selbst eine Menge von Detailmaassen angegeben.

Dynamomaschinen für Bahnbetriebe müssen mit Rücksicht auf die bedeutenden, oft unvermittelten und sehr häufigen Stromschwankungen (bezw. Energie-Abgabe-Differenzen) sowohl in mechanischer Beziehung besonders stark gebaut sein, es erfordern die vorstehend zitierten Umstände auch besondere Vorsichten für die elektrischen Teile.

Der Eisenkörper und die Drähte des Ankers sind die letzten kinematischen Elemente, an welchen die Energie der Primärkraft angreift; anderseits finden aber auch alle die verschiedenen und bedeutenden Kraftprozesse, die den direkten Gegensatz zu einen gleichmässigen elektrischen Stromfluss bilden

und die auf jeden Fall mehr oder weniger schädigend wirken, ihren End- und Angriffspunkt ohne jede Schwächung mit voller Heftigkeit im Dynamo-Anker. Um nun allen Deformationen am Anker vorzubeugen, ist derselbe in mechanischer und elektrischer Beziehung besonders stark gehalten. Es werden fast nur gezahnte Trommel-Anker mit parallel geschalteten Stromkreisen verwendet.

Das gusseiserne Ankerkreuz zweigt in eine Anzahl von Armen aus, die sich an ihren Enden zu Segmenten erweitern, die auf einer Cylinderoberfläche liegen (Fig. 3 und 4, Tafel 19). Diese Segmente sind voneinander unabhängig und durch keinerlei Rippen oder Rahmen verbunden, um Guss-Spannungen zu verhüten. Die Nabe des Ankerkreuzes ist in einem gedrehten Ansatz verlängert, welcher den Kollektor trägt. Anker und Kollektor können daher unabhängig von der Welle montiert werden. Die Fig. 6, Tafel 19, zeigt eines der Bleche, aus welchen der Anker aufgebaut wird. Schwalbenschwanzähnliche Ansätze dienen zur Befestigung des Anker-Eisenkörpers am Kreuz. Die Bleche werden mittels Mutterschrauben und gusseiserne massive Kopfscheiben zusammengehalten. Die Schrauben werden durch Aussparungen zwischen Ankerblech und Ankerkreuz hindurch geführt. Die Bleche sind in Gruppen so verteilt, dass Ventilationskanäle von ca. 13 *mm* Weite gebildet werden. Die beiden Ankerkopfplatten endigen in einem angegossenen Cylindermantel, der zur Unterstützung der Drähte der Ankerköpfe dient. Der an der Antriebseite befindliche Mantel ist an seinem freien Ende nach aussen umgebördelt (Fig. 46) und bietet derart der Ankerstirn einen besseren Schutz als Schutzkappen aus Wachsleinen oder Messingblech.

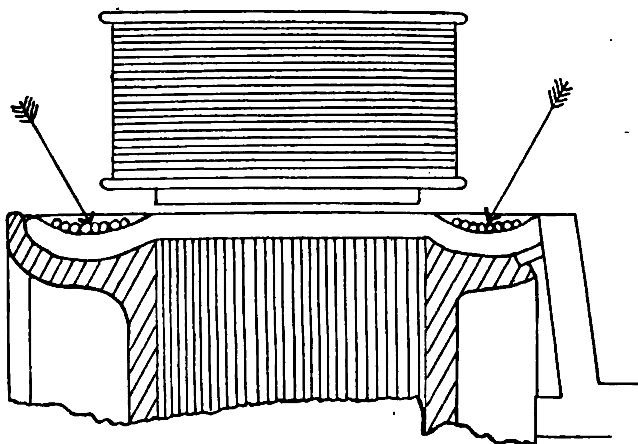


Fig. 46.

Die Ankerspulen werden auf Leeren hergestellt. Die fertigen Spulen werden mit Isolierband umwickelt, welches innen klebrig, aussen trocken ist. Dasselbe haftet wasserdicht an den Leitern, ohne die Herausnahme der ganzen Spule bei nötig werdenden Reparaturen zu behindern. Bei kleinen Maschinen werden Drähte, bei grossen Stäbe und bei ganz grossen parallel gelegte und geschaltete Stäbe verwendet. Immer aber bildet jede Spule ein ununterbrochenes Ganze; Lötstellen kommen nur am Kollektor vor.

Die überreiche und sehr ausgiebige Isolierung der Ankerstäbe ersieht man aus Fig. 7, Tafel 19.

Es bedeutet:

a die Kupferstäbe;
b Streifen aus Pressspahn zwischen den Stäben;
c geöltes Leinwandband;
d Streifen aus harter Gummi-Kompositionsmasse;
e Hartholzkeil als Verschlussstück der Nuten;
f Mulde aus Pressspahn;
g Mulde aus Ölpapier;
i Mulde aus geölter Leinwand;
j Mulde aus Pressspahn.

Die Enden der einzelnen Isolierlagen stehen vor. Dieselben werden nach Einbringung der Leiter übereinander gefaltet und durch einen Holzkeil abgeschlossen. Da die Zahnlücken ganz offen sind (Fig. 6, Tafel 19) müssen Bandagen angelegt werden. Dieselben sind auf den Ankerköpfen angebracht. Der äussere Umriss der letzteren stellt, als geometrischer Ort einer Geraden, die um eine zu ihr gekreuzte gedreht wird, ein Rotationshyperboloid dar (Fig. 44). Diese Bandagen können, da sie ausserhalb der wirksamen Induktionsebenen rotieren, sehr kräftig gehalten werden, da, wenn sie schon gelockert werden sollten, ein Streifen von anderen Metallteilen nicht zu fürchten ist.

Die Metall-Lamellen des Kollektors sind mittels Glimmer voneinander isoliert. Auch hier ist auf kräftigen Aufbau ganz besonders Rücksicht genommen worden.

Die Polgehäuse sind bei grösseren Walker-Maschinen zur Erreichung einer bedeutenden Stabilität aus Gusseisen gebildet. Die Eisenkerne für die Magnete aber sind aus schmiedeeisernen Platten (von der Form:) zusammengesetzt und werden die so aufgebauten Kerne in das Joch mit eingegossen, nachdem sie vorher in einen gusseisernen Rahmen eingepackt wurden. Es kann keinem Zweifel unterliegen, dass diese Anordnung auf die magnetischen Verhältnisse in der Maschine einen ganz vortrefflichen Einfluss ausübt, nur dürften die Kosten eines solchen Aufbaues nicht unbedeutend sein.

Diese Gehäuse sind zumeist zweiteilig und die Berührungsflächen sind sehr gut bearbeitet und grösser als der zur Rechnung giltige Querschnitt (Q_3).

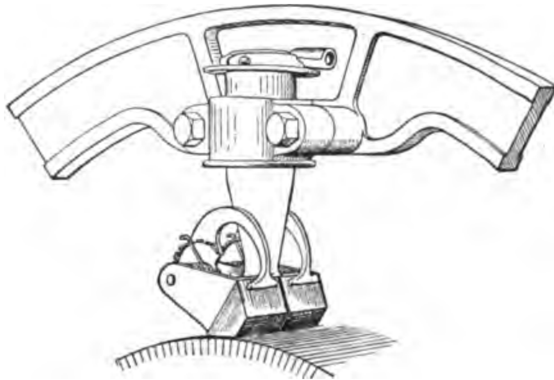


Fig: 47.

Die Magnetspulen werden in Kasten aus Eisenblech gewickelt, welche von durchbrochenen Kopfplatten aus Bronce unterstützt werden. Die Flanschen der Kasten sind abwechselnd durch vier Lagen von Glimmer und fünf Lagen von Papier, der Boden durch abwechselnde Lagen von Glimmer und Gummileinwand isoliert. Die Drahtgruppen der Compound- und Nebenschluss-Bewickelung sind nebeneinander angeordnet und durch eine gut isolierende Zwischenschicht voneinander getrennt. Die Compound-Wickelung besteht aus einem einzelnen, breiten und mit Isolierband umwickelten Kupferband; die Nebenschlusswickelung, wie gewöhnlich, aus rundem Kupferdraht.

Die Kohlen und die Bürstenhalter (Fig. 47) haben eine von den europäischen Konstruktionen sehr verschiedene Form. Die Halter sind bei den kleinen Maschinen an einer Brille befestigt, die an einer kreisrunden Andrehung des Kollektorlagers angebracht ist; bei grösseren Maschinen sind sie an einem ringförmigen Träger angeschraubt; letztere sind am Polgehäuse befestigt.

Wie aus Fig. 47 ersichtlich, werden die Kohlenstücke durch Druckhebel und Federn an den Kollektor angepresst. Dieser hat das Bestreben, die Kohlen im Sinne der Drehung mitzunehmen. Dies wird aber durch eine bearbeitete Auflagefläche verhindert, an welche die Kohle mit hinreichender Kraft angedrückt wird. Letztere ist regulierbar. Dabei ist auch eine seitliche Verschiebung der Kohle nicht zu fürchten. Die Belastung pro Quadratmillimeter Auflagsfläche der Kohle beträgt 0,05 Ampère, ist also sehr gering; die Kohle wird nicht warm und der Kollektor bleibt kalt.

Der mechanische Aufbau der Walker-Maschinen ist ein besonders kräftiger. Die reichlich bemessenen Lagerschalen sind aus Bronce verfertigt und mit Babbitmetall gefüttert. Das Polgehäuse ist aussen kräftig gewölbt, sämtliche Ecken sind genügend abgerundet, die Streuung also möglichst beschränkt. Auch die Lager sind, wie das Polgehäuse, zweiteilig. Die direkt gekuppelten Maschinen ruhen auf gusseisernen Unterplatten und können in der Achsrichtung so weit vorgeschoben werden, dass der wirksame Teil des Ankers allseitig zugänglich wird.

Die Isolation der Maschine wird mit 5000 Volt Wechselstrom geprüft. Die Erwärmung ist sehr gering und soll dieselbe eine 50%ige Überlastung auf 3 bis 4 Stunden vertragen, ohne dass die Erwärmung zu Befürchtungen Veranlassung giebt.

Das Verhältnis zwischen dem Haupt-Magnetstrom und den magnetischen Anker-(Reaktions-)Wirkungen ist derart günstig gestaltet (muss es sein!), dass innerhalb der Belastungsgrenzen eine Bürsten-Verschiebung nicht nötig wird.

Der Wirkungsgrad ist, wie bei solchen Abmessungen wohl zu erwarten steht, ein sehr befriedigender.

Tafel 19. **Walker-Dynamos zum Lichtbetrieb.**

Maschinen, wie sie im Vorstehenden beschrieben wurden, könnten zwar ohne Weiteres zum Lichtbetrieb verwendet werden, doch baut die Walker Compagnie zu diesen letzteren Zwecken auch besondere Maschinen, die sich von den vorbeschriebenen nur dadurch unterscheiden, dass die Polgehäuse samt Magneteisenkernen aus Stahl und zusammen gegossen werden, wobei allerdings auch die Zusammensetzung des Maschinengehäuses aus zwei Teilen mit verbreiterten Flanschen beibehalten wurde.

Die Fig. 8, 9 und 10 der Tafel 19, sind Abbildungen solcher Maschinen, die sich von den Bahn-Dynamos sonst in nichts weiter unterscheiden.

Da beim Lichtbetrieb ein gleichmässiger elektrischer Stromfluss vorauszusehen ist, braucht man auch die Wirbelströme nicht so zu fürchten und ist daher von der Lamellierung der Magneteisenkerne abgesehen worden.

Die Tafel 19 veranschaulicht einige technische Details und Gesamtansichten bezw. Skizzen dieser amerikanischen Maschinen. Obwohl in Europa schon ziemlich viele derartiger Maschinen, besonders zum Betrieb elektrischer Eisenbahnen, zufriedenstellend in Betrieb stehen, sind umfassende technische Erörterungen über dieselben noch nirgends veröffentlicht worden. Immerhin wird der praktisch arbeitende Konstrukteur auch aus diesen Skizzen einige wertvolle Erfahrungen über die originellen mechanischen Anordnungen und Abmessungen ersehen können.

Die Ermittelungen der elektrischen und magnetischen Abmessungen dazu werden nach den vorstehenden Berechnungsbeispielen keinen Schwierigkeiten mehr begegnen.

Bei den grösseren Maschinen treten überhaupt, wie schon früher bemerkt wurde, die magnetischen und elektrischen Grössen in zweite Reihe; von bedeutenderer Wichtigkeit sind bei solchen Maschinen die mechanischen Abmessungen.

Die in den Fig. 1 bis 7 Tafel 19, skizzierte Walker-Maschine leistet

$e = 550$ V; $i = 145$ A; $ei = 800$ Kw. bei $n = 85$ bis 90

Kraftverbrauch $\sim$ 1175 P.S.

Das Polgehäuse hat einen Durchmesser . . . . = 420 *cm*
bei einer Breite . . . . = 72,4 »
Der Anker ist eine gezahnte Trommel und hat, an der Welle gemessen, inklusive Kommutator, eine Länge . . . . = 114 »
ohne Kommutator . . . . = 94 »
und einen Durchmesser . . . . =270 »
Der Durchmesser des Kollektors . . . . =213 »
Die Auflagfläche für die Stromabnehmer . . . . = 28 *qcm*,
was einer Belastung der Kohlen von ca. 5 A pro 1 *qcm* entspricht. (Siehe übrigens auch die Tabelle Seite 84.)

Der Anker besteht aus gestanzten Eisenblechen (Fig. 6) und ist der lamellierte Eisenkörper mit Schwalbenschwänzen auf dem Armkreuze befestigt. Massiv gehaltene Endscheiben, welche durch Schrauben zusammengehalten werden, begrenzen den Körper und geben ihm so die erforderliche Stabilität. Die Eisenbleche sind in Sektionen geteilt, zwischen denen Luftkanäle (12 *mm*) zur Vergrösserung der Abkühlungsoberfläche vorgesehen sind. Die Ankerwickelung besteht aus flachem Kupferdraht (Fig. 7), welcher vor dem Auflegen entsprechend hergerichtet und dann mit den Anschlüssen bei den Kollektorsegmenten verlötet wird (Fig. 5). Die Drähte sind nach der in Fig. 7 (Seite 80) dargestellten Weise isoliert.

Mittels Phosphorbronce-Bändern werden die so hergerichteten Kupferstäbe in ihrer Lage festgehalten.

Die Führung der Kohle in den Bürstenhaltern erfolgt durch eine Kontaktfeder, welche die Kohle dauernd an eine Führungs-Platte anpresst, sodass Übergangswiderstände zwischen Kohle und Halter vermieden werden.

Die Temperaturerhöhung beim Betrieb soll bei dauernder Vollbelastung höchstens 24° bis 25° betragen.

Bezüglich der sechspoligen Walker-Maschinen beschränken wir uns unter Hinweis auf die Fig. 8 und 9 der Tafel 19 auf die Widergabe der nachstehenden Tabelle:

Leistung Kilowatt	n =	Bedarf in P. S.	Polzahl	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L
25	300	34	4	1111	1193	965	1270	22	317	266	419	228	863	254	419
50	280	67	6	1339	1441	1117	1498	28	457	241	457	212	1127	355	482
75	250	100	6	1473	1600	1117	1676	28	533	285	654	196	1270	355	533
100	250	135	6	1625	1752	1270	1828	31	533	307	698	279	1346	355	571

(Maasse in Millimeter.)

Zu den Fig. 10 und 11 der Tafel 19 gehört umstehende Tabelle:

Direkt gekuppelte mehrpolige Dynamomaschinen.
(Konstruktion Walker.)

Leistung in Kilowatt . . .	100	150	175	200	200	200	250	300	300	400	**400**	500	**800**	800	1000	1200	1600
Spannung in Volt	550	550	550	550	550	550	550	550	550	550	**550**	550	**550**	550	650	650	650
Ampère	182	273	318	363	363	363	454	545	545	727	**727**	910	**1450**	1450	1540	1850	2460
Umdrehungen in der Minute.	125	200	225	100	150	200	200	300	90	120	**90**	110	**90**	80	80	80	75
Polzahl	8	8	8	8	8	8	8	8	10	10	**10**	10	**12**	12	12	14	14
Kraftbedarf in P. S.	150	220	260	300	300	300	375	430	450	575	**600**	750	**1175**	1175	1450	1725	2300
Durchmesser der Welle in *mm*	279	279	279	305	254	330	330	356	356	356	**432**	432	**559**	559	559	610	610
Hauptmaasse (*mm*) A	2330	2330	2330	2680	2477	2350	2350	2350	3590	3590	**3730**	3730	**4265**	4265	4265	4900	4900
B	1835	1835	1835	2160	2060	1700	1700	1700	2580	2580	**2730**	2730	**3100**	3100	3100	3720	3720
C	760	760	760	915	915	625	625	625	940	940	**1005**	1005	**1105**	1105	1105	1475	1475
D	4115	4115	4115	4320	4115	4265	4265	4265	5485	5485	**5485**	5485	**5995**	5995	5995	7010	7010
E	1805	1805	1805	2055	1740	1980	1980	1980	3075	3075	**3175**	3175	**3605**	3605	3605	4115	4115
F	2135	2135	2135	2135	2135	2285	2285	2285	2440	2440	**2440**	2440	**2440**	2440	2440	2745	2745
G	90	90	90	90	90	90	90	90	125	125	**125**	125	**125**	125	125	190	190
H	1830	1830	1830	1830	1830	1980	1980	1980	2135	2135	**2135**	2135	**2135**	2135	2135	2440	2440
I	2720	2720	2720	3275	2945	3050	3050	3050	4445	4445	**4445**	4445	**4955**	4955	4955	5790	5790
J	610	610	610	610	610	610	610	610	610	610	**610**	610	**610**	610	610	610	610
K	2235	2235	2235	2630	2235	2390	2390	2390	3660	3660	**3735**	3735	**4205**	4205	4205	4775	4775
L	45	45	45	45	45	50	50	50	50	50	**65**	65	**65**	65	65	65	65
M	180	180	180	255	190	150	150	150	350	350	**355**	355	**355**	355	355	215	215
N	510	510	510	635	605	735	735	735	700	700	**710**	710	**825**	825	825	660	660
O	510	510	510	635	605	735	735	785	700	700	**710**	710	**825**	825	825	660 + 660	660 + 660
P	310	310	310	395	350	340	340	350	455	455	**465**	465	**510**	535	535	585	585
Q	1015	1015	1015	1360	1225	1395	1395	1395	1625	1625	**1650**	1650	**1840**	1840	1840	1805	1805
R	180	180	180	255	190	150	150	150	350	350	**355**	355	**355**	355	355	215	215
S	1065	1065	1065	1346	1205	1380	1380	1380	1600	1600	**1625**	1625	**1815**	1815	1815	1780	1780

Tafel 20.

Achtzehnpolige Dynamo-Gleichstrommaschine (Konstruktion Kummer).

e = 570 V; i = 1540 A; ei = 87780 Watt; n = 90

Kraftbedarf = ~ 1275 P.S.

In den vorausstehenden Berechnungen haben wir schon wiederholt gezeigt, wie die Eisen- und Kupfermengen bemessen und verteilt werden müssen, um bestimmte magnetische und elektrische Effekte erzielen zu können. Was in dieser Beziehung für eine vier- und sechspolige Maschine gilt, kann mit den wesentlichen, aber sonst unbedeutenden Änderungen auch bei einer achtzehnpoligen angewendet werden. Es erscheint daher überflüssig, die schon mehrfach ausgeführten Berechnungen hier noch einmal zu wiederholen.

Etwas anderes ist es mit dem mechanischen Aufbau einer so grossen Maschine und unsere Tafel 20 zeigt in vorzüglicher Weise, wie konstruiert werden muss, wenn der verlangte Effekt erzielt werden soll, ohne die tote Last allzusehr gross zu machen, und bei genügender Betriebssicherheit eine ausreichende Stabilität zu erzielen.

Das eingehendere Studium dieser Tafel ist dem Maschinenbauer sehr zu empfehlen; wir halten es aber für nicht nötig, die Resultate solcher Studien hier weiter auszuführen, weil dieselben ohnehin je nach dem Standpunkt, den man einnimmt, verschieden sein können, und für eine erschöpfende Besprechung »aller« Konstruktions-Beziehungen einer so grossen Maschine dürfte auch ein grösserer Raum, als er hier geboten ist, nicht ausreichen.

Innenpol-Dynamomaschinen.

Siemens & Halske sowie die ehemalige Firma Gebr. Naglo (Berlin) bauten auch Innenpol-Dynamomaschinen, wie eine solche in den umstehenden Fig. 48 und 49 skizziert ist. Bei diesen äusseren Abmessungen leistet eine solche bei n = 200 pro Minute, 65 Kilowatt. Ist sie direkt mit der Dampfmaschine gekuppelt, was ja bei dieser Konstruktion zumeist der Fall sein dürfte, so kann der Wirkungsgrad mit $\eta = 0{,}94$ angesetzt werden.

Der äussere Radius des Ringes	=	80 *cm.*
Die Breite des Ringes	=	30 »
Der Querschnitt des Eisenringes	=	190 *qcm.*
» » eines Elektromagnetkernes	=	756 »
» Durchmesser » »	=	142 *cm.*
» Ankerwiderstand (warm)	=	0,0117 Ohm.
Die Ampère-Windungen für einen magnetischen Kraftfluss	=	9800

Es ist auffallend, dass fast alle anderen Fabriken den Bau solcher Maschinen nicht in ihren Wirkungskreis einbeziehen wollen, trotzdem letztere überall dort, wo sie in Verwendung stehen, zur Zufriedenheit funktionieren.

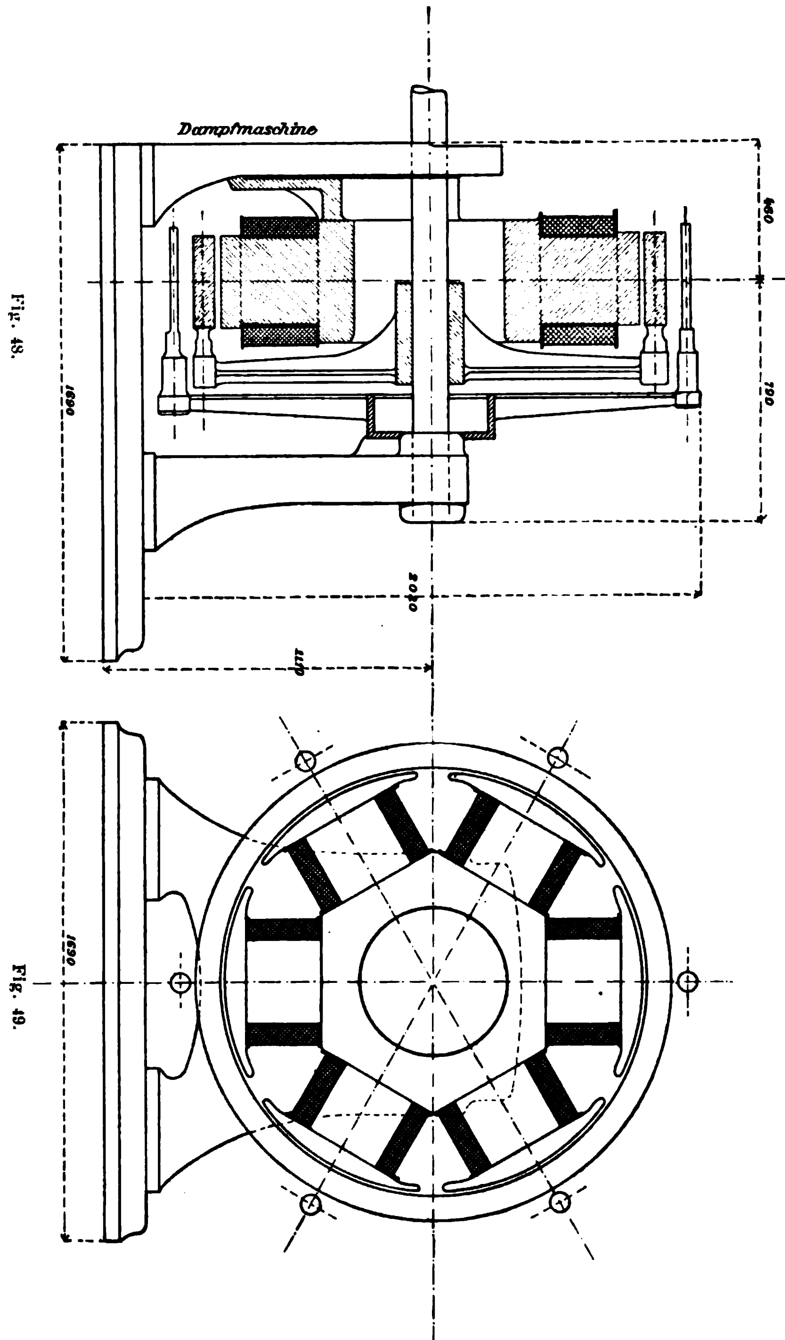


Fig. 48.

Fig. 49.

Tafel 21.

Schemata zur Konstruktion und Wickelung der Ringanker und Konstruktion einiger Stromabnehmer.

Fig. 1. Ankerschaltung vierpoliger Maschinen mit zwei Stromabnahmestellen bei »Hintereinanderschaltung« der Ankerspulen (nach Desrozier). Bei p (= 2) Polpaaren werden $4p + 1$ (also $4 \times 2 + 1 = 9$) Spulen und $8p + 2$ (also $8 \times 2 + 2 = 18$) Kollektorlamellen verwendet. Die Bürsten sind um $\frac{360}{2p}$ Grad verstellt.

Fig. 2. Parallelschaltung von Ankerspulen gleicher Spannung (nach Gülcher und nach Mordey) bei zwei Stromabnehmern, die um $\frac{360}{2p}$ Grad verstellt sind.

Fig. 3. Ankerschaltung einer vierpoligen Maschine mit vier Stromabnehmern.

Fig. 4 und 5. Schaltung eines Ringankers aus gelochten Eisenscheiben (nach Brown und nach Wenström).

Fig. 6. Schnitt durch einen Kollektor.

Fig. 7 (unter 1) zeigt einen Teil des Schnittes durch eine sehr grosse Trommel.

Fig. 8 einen Teil des Schnittes durch einen Ringanker.

Fig. 9 denselben, wenn der Ankerstern aus zwei Teilen besteht, welche durch Bolzen zusammengehalten werden.

Fig. 10 zeigt denselben Fall, wie Fig. 9, nur mit der Erweiterung, dass man diese Konstruktion sowohl für Ring- als auch für Trommelanker verwenden kann.

Fig. 11, 12, 13 und 14 zeigen verschiedene Anordnungen runder und kantiger Drähte bei Ringankern mit Berücksichtigung der kleineren Innenflächen und der Sternspeichen.

Fig. 15 und 16 sind Skizzen eines in neuerer Zeit vielfach und gerne verwendeten Kohlen-Stromabnehmers.

Fig. 17 ist die Skizze eines federnden Stromabnehmers mit Metallbürste. (Siemens & Halske.)

Fig. 18 zeigt die Vorrichtung, um bei grossen vielpoligen Dynamos den Strom abnehmen und die Bürsten gleichzeitig mit einem einzigen Handgriff ein- und verstellen zu können. (Konstruktion Siemens & Halske.)

Tafel 22.

Schemata zur Wickelung der Trommelanker.

Fig. 1 und 2. Zweipolige Schleifen-Wickelung eines Trommelankers. Obwohl die Reihenfolge der Verbindungen aus der Zeichnung ersichtlich ist, bringen wir dazu noch die bezügliche Tabelle als Muster für ähnliche Aufstellungen:

— —	a	⊙ 1
⊗ 8	— b	⊗ 3
⊙ 10	c	⊗ 5
⊙ 12	d	⊗ 7
⊙ 14	e	⊗ 9
⊙ 16	+ f	⊙ 11
⊗ 2	g	⊙ 13
⊗ 4	h	⊙ 15
⊗ 6	a	——

Fig. 3 und 4. Vierpolige Schleifen-Wickelung eines Trommelankers mit Parallel-Schaltung.

Ist z die Zahl der Drähte am Umfang des Ankers gezählt und giebt $\frac{z}{4}$ eine gerade Zahl, so ist der Wickelungsschritt auf der Hinterseite gleich $\left(\frac{z}{4} \pm 1\right)$.

Auf der Vorderseite ist er um zwei kleiner und nach rückwärts abzutragen.

Wenn $\frac{z}{4}$ eine ungerade Zahl ergiebt, so wird der Wickelungsschritt auf der Hinterseite gleich $\frac{z}{4}$ und auf der Vorderseite zwei kleiner nach rückwärts.

Eine solche Wickelung ist eigentlich nichts anderes als das Parallellegen zweier zweipoliger Wickelungen, wie sich das aus dem unteren Teil der Fig. 3 und 4 sehr leicht erkennen lässt.

Fig. 5 und 6. Zweipolige Wellen-Wickelung eines Trommelankers. Der Wickelungsschritt = 9. Dazu gilt demnach folgende Tabelle:

— —	— a	⊗ 1
⊙ 10	b	⊗ 3
⊙ 12	c	⊗ 5
⊙ 14	d	⊗ 7
⊙ 16	+ e	⊙ 9
⊗ 2	f	⊙ 11
⊗ 4	g	⊙ 13
⊗ 6	h	⊙ 15
⊗ 8	a	——

Fig. 7 und 8. Vierpolige Wellen-Wickelung eines Trommelankers in Parallel-Schaltung. $\frac{z}{4}$ muss eine gerade Zahl sein. Der Schritt muss vorn und hinten gleich sein $\left(\frac{z}{4} \pm 1\right)$ aber stets nach vorwärts.

Fig. 9 zeigt die Anordnung runder und kantiger Ankerdrähte in Nuten- und Loch-Ankertrommeln und

Fig. 10 die Ausführung der Wickelung eines Trommelnutenankers auf einer der beiden Stirnseiten.

Tafel 23.

Fig. 1 zeigt sehr exakt gearbeitete Diagramme von Du Bois und zwar B-H-Kurven für Schmiedeeisen, Gussstahl und Gusseisen.

Multipliziert man die jeweilig ermittelten Werte H mit $\frac{10}{4\pi} = 0{,}8$ so ist dieses Produkt gleich die Zahl der Ampère-Windungen, welche pro 1 *cm* Länge des magnetischen Kraftstromweges nötig sind.

Fig. 2 veranschaulicht in Form von Diagrammen, wie die Querschnitte der Kupferdrähte, je nach der zulässigen Erwärmung, bei den verschiedenen Ampère-Belastungen wachsen müssen.

Tafel 24 und 25.

Auf diesen beiden Tafeln bringen wir Diagramme, welche (nach Prof. Rühlmann) die Abhängigkeit der magnetischen Induktion von der magnetomotorischen Kraft zeigen. Wir müssen aber wieder darauf hinweisen, dass sich dieselben, wie alle derartigen Diagramme, natürlich nur auf bestimmte Materialsorten beziehen.

Für den Dynamomaschinen-Konstrukteur bilden sie jedoch trotzdem sehr wertvolle Behelfe.

Anhang.

Tabellen.

Tabelle 1

über den Einfluss der magnetischen Sättigung auf die Permeabilität (ϱ als Funktion von σ).

(Nach Dr. Corsepius.)

Sättigung $\sigma =$	$\varrho =$
Schmiedeeisen	
0,025	1,455
0,050	1,038
0,075	0,887
0,100	0,792
0,125	0,718
0,150	0,667
0,175	0,626
0,200	0,602
0,225	0,585
0,250	0,577
0,275	0,577
0,300	0,588
0,325	0,607
0,350	0,639
0,375	0,679
0,400	0,722
0,425	0,780
0,450	0,840
0,475	0,908
0,500	1,000
0,525	1,102
0,550	1,233
0,575	1,438
0,600	1,717
0,625	2,130
0,650	2,760
0,675	3,638
0,700	4,677
0,750	7,900
0,800	13,500

$\sigma =$	$\varrho =$
Stahl	
0,05	1,983
0,10	1,427
0,15	1,127
0,20	0,973
0,25	0,890
0,30	0,880
0,35	0,853
0,40	0,857
0,45	0,867
0,50	1,000
0,55	1,210
0,60	1,543
0,65	2,150
0,70	3,380
0,75	5,460

Dabei ist im Mittel

für Schmiedeeisen:

$$\sigma = \frac{\Phi}{q \times 25000}$$

für Stahl:

$$\sigma = \frac{\Phi}{q \times 23000}$$

für Gusseisen:

$$\sigma = \frac{\Phi}{q \times 20000}$$

$\sigma =$	$\varrho =$
Gusseisen	
0,050	0,177
0,100	0,138
0,125	0,137
0,150	0,147
0,175	0,167
0,200	0,193
0,225	0,225
0,250	0,266
0,275	0,313
0,300	0,366
0,325	0,422
0,350	0,485
0,375	0,549
0,400	0,617
0,425	0,707
0,450	0,793
0,475	0,894
0,500	1,000
0,525	1,151
0,550	1,339
0,575	1,559
0,600	1,813
0,625	2,138
0,650	2,480
0,675	2,847
0,700	3,228

Tabelle 2

über die Beziehungen von H zu B.

I. Schwedisches Holzkohleneisen von Krupp. (Nach Untersuchungen der Technischen Reichsanstalt.)

H (wiederholt aufsteigend)	B	H (absteigend)	B
0	9100	140,2	17450
0,67	5780	90,4	16670
0,97	2240	64,3	16170
1,29	1230	45,8	15750
1,90	5530	36,1	15480
2,65	8330	25,0	15120
3,61	10240	18,2	14800
5,61	12150	9,56	14260
9,60	13580	5,60	13720
14,9	14310	1,90	12110
25,0	14970	0	9140
36,1	15410	—0,67	5910
45,9	15700		
64,3	16160		
90,4	16670		
139,5	17450		

II. Krupp'scher Dynamostahl. (Nach Untersuchungen von Professor Ewing.)

H	B
0,88	1000
1.18	2000
1,43	3000
1,66	4000
1,90	5000
2,15	6000
2,45	7000
2,83	8000
3,34	9000
4,05	10000
5,10	11000
6,65	12000
8,8	13000
13,0	14000
19,8	15000
36	16000
72	17000
124	18000

Deckt sich genau mit der Schmiedeeisenkurve von Dubois.

III. Schmiedeeisen. (Nach Untersuchungen von Du Bois.)

H	B	H	B
0,6	1169,3	27,5	15422
1,1	3494,5	41,0	16063
1,8	5530,9	55,1	16517
2,2	6536,9	76,5	17016
3,2	8674,0	104,5	17547
4,4	10070,4	151,0	18246
5,3	10950,3	240,0	19341
6,5	11718,5	315	19969
7,5	12386	385	20491
8,7	12827		
9,7	13217		
10,8	13532		
13,8	14063		
18,1	14658		
21,8	15000		

IV. Gusseisen. (Nach Untersuchungen von Dr. Corsepius.)

H	B	H	B
5	4030	90	8415
10	4510	100	8710
15	4960	125	9390
20	5330	150	9985
25	5660	175	10525
30	5965	200	10940
35	6230		
40	6500		
45	6735		
50	6950		
55	7185		
60	7380		
65	7570		
70	7755		
80	8090		

Tabelle 3.

Kraftlinien-Zahlen für Anker-, Luft- und Feldmagnete.

Maschine für	B = Linien pro 1 *qcm*: im Anker	im Luftraum	im Feldmagnet: für Schmiedeeisen	für Gusseisen
Gleichspannung.				
Zweipolig, Trommel	10000 bis 15000	4000 bis 7500	12000 bis 17000	6000 bis 8000
langen Ring	12000 » 16000	2500 » 5000	12000 » 17000	6000 » 8000
vielpoligen Ring	10000 » 15000	3000 » 5000	12000 » 17000	6000 » 8000
nur für Bogenlicht	17000 » 20000	3000 » 7000	17000 » 20000	6000 » 10000

Tabelle 4

der Leistungen in Watt für Dynamomaschinen bei verschiedenen Tourenzahlen und Spannungen bis 220 Volt.

Circa Touren	2500	2000	1700	1600	1500	1400	1300	1250	1200	1150	1100	1050	1000	950	900	800	700	600
K I	300	240	200															
K II		600	500	480	450													
G O			1100	950	950	850	850	750	750	700	700							
G I					1650	1500	1500	1350	1350	1200	1200	1100	1100					
G II						2600	2400	2400	2200	2200	2000	2000	1800	1800				
G III								4000	3800	3600	3400	3400	3200	3000	2800			
G IIIa								5000	4800	4600	4400	4200	4000	3800	3600			
G IIIb								6100	5800	5600	5300	5100	4800	4600	4400			
G IV									8800	8400	8000	7700	7300	7000	6500	5800		
G V											13000	12400	11800	11200	10500	9400	8200	
G Va													17600	16500	15500	14000	12000	
G VI														24000	22700	20000	17500	
G VIa															29000	25000	22000	19000
G VII																35000	30000	26000

Circa Touren	550	525	500	475	450	400	300	200
V P XII	40000	38000	36000	34000	32000	28000	21000	
V P XIII		50000	47000	44000	42000	37000	28000	19000
V P XIV			65000	60000	57000	50000	40000	25000
V P XV				80000	75000	65000	50000	32000
V P XVI					100000	90000	65000	45000

(Aufgestellt von der Firma Julius Kalb & Cie., Düsseldorf.

Tabelle 5

der Leistungen in effektiven Pferdestärken für Elektromotoren bei verschiedenen Tourenzahlen und Spannungen bis 220 Volt.

Circa Tourenzahl pro Minute	2500	2000	1700	1600	1500	1400	1300	1250	1200	1150	1100	1050	1000	950	900	800	750	700	600	500	400
K I	2/5	1/3	1/4	1/4	1/4																
K II		1	3/4	3/4	2/3	2/3															
G O			1 1/3	1 1/3	1 1/4	1 1/5	1	1	1	4/5	3/4	2/3	2/3	1/2	1/2	1/2					
G I					2 1/3	2 1/4	2	2	1 4/5	1 3/4	1 3/4	1 3/5	1 1/2	1 2/5	1 1/3	1 1/4	1 1/5	1			
G II						3 1/3	3 1/4	3 1/6	3	2 4/5	2 3/4	2 3/5	2 1/2	2 2/5	2 1/4	2	1 3/5	1 1/2			
G III							6	5 3/4	5 1/2	5	5	4 3/4	4 1/2	4 1/4	4	3 1/2	3 1/4	3			
G IIIa								6 3/4	6 1/2	6 1/4	6	5 3/4	5 1/2	5 1/4	5	4 1/2	4 1/3	4 1/4	4		
G IIIb								8 1/2	8 1/4	7 3/4	7 1/2	7	6 3/4	6 2/5	6	5 1/2	5 1/4	5	4 1/2		
G IV									12	11 1/2	11	10 1/2	10	9 1/2	9	8	7 1/2	7	6	5 1/4	
G V											17	16 1/2	16	15	14	13	12 1/4	11 1/2	9 1/2	7 1/2	6 1/4
G Va													24	22	20	18	17 1/4	16 1/2	15	13	9
G VI														29	28	25	23 1/2	22	20	17	13
G VIa															32	30	27	24	21	19	16
G VII															44	42	40	32	29	26	20

(Aufgestellt von der Firma Julius Kalb & Cie., Düsseldorf.)

Tabelle No. 6

über Gewicht und Widerstand von Kupferdrähten.

Durchmesser in *mm*	Querschnitt in *qmm*	Gewicht von 1 *km* in *kg*	Widerstände von 100 *m* in Ohm	Durchmesser in *mm*	Querschnitt in *qmm*	Gewicht von 1 *km* in *kg*	Widerstände von 100 *m* in Ohm	Durchmesser in *mm*	Querschnitt in *qmm*	Gewicht von 1 *km* in *kg*	Widerstände von 100 *m* in Ohm
0,1	0,008	0,069	212,892	2,00	3,132	27,90	0,53298	5,0	19,64	174,5	0,07545
0,2	0,031	0,279	53,298	2,10	3,464	30,80	0,4794	5,5	23,76	212	0,07050
0,3	0,071	0,629	23,688	2,20	3,976	33,80	0,4418	6,0	28,27	252	0,05922
0,4	0,126	1,118	13,348	2,30	4,155	36,90	0,4042	6,5	33,18	294	0,05038
0,5	0,196	1,745	7,545	2,40	4,524	40,30	0,3666	7,0	38,14	341	0,04352
0,6	0,283	2,52	5,922	2,50	4,909	43,60	0,34028	7,5	44,18	392	0,03788
0,7	0,385	3,41	4,352	2,60	5,309	47,30	0,3196	8,0	50,27	447	0,03328
0,8	0,503	4,47	3,328	2,70	5,726	51,00	0,2914	8,5	56,74	505	0,02952
0,9	0,636	5,67	2,632	2,80	6,158	54,80	0,2726	9,0	63,62	567	0,02632
1,00	0,785	6,98	2,128	2,90	6,605	58,9	0,2538	9,5	70,88	629	0,02359
1,05	0,860	7,69	1,922	3,00	7,069	62,9	0,23688	10,0	78,55	698	0,02124
1,10	0,950	8,42	1,705	3,10	7,548	67,1	0,22090	10,4	85	756	0,0196
1,15	1,041	9,20	1,607	3,20	8,043	71,6	0,20774	10,7	90	801	0,0185
1,20	1,131	10,02	1,48	3,30	8,553	76,1	0,19552	11,0	95	845,5	0,0176
1,25	1,229	10,88	1,36	3,40	9,08	80,8	0,18424	11,3	100	890	0,0166
1,30	1,327	11,79	1,28	3,50	9,62	85,8	0,17390	11,8	110	979	0,0152
1,35	1,431	12,70	1,166	3,60	10,18	90,2	0,16450	12,35	120	1068	0,0139
1,40	1,539	13,64	1,081	3,70	10,75	95,6	0,15604	12,87	130	1137	0,0128
1,45	1,631	14,63	1,017	3,80	11,34	100,8	0,14758	13,35	140	1246	0,0119
1,50	1,767	15,67	0,949	3,90	11,95	106,2	0,14006	13,81	150	1335	0,0111
1,55	1,887	16,80	0,864	4,00	12,57	111,8	0,13348	14,27	160	1424	0,0104
1,60	2,011	17,90	0,8272	4,10	13,20	117,8	0,12690	14,7	170	1513	0,0098
1,65	2,138	19,05	0,7802	4,20	13,85	123,4	0,12032	15,15	180	1602	0,00927
1,70	2,270	20,20	0,7332	4,30	14,52	129,2	0,11468	15,5	190	1691	0,0088
1,75	2,405	21,43	0,6956	4,40	15,20	135,6	0,10998	15,95	200	1780	0,00835
1,80	2,544	22,65	0,6580	4,50	15,90	141,3	0,10528	16,7	220	1958	0,00760
1,85	2,688	23,86	0,6204	4,60	16,62	148,1	0,10058	17,5	240	2136	0,00695
1,90	2,835	25,24	0,5922	4,70	17,35	154,1	0,09682	18,2	260	2314	0,00641
1,95	2,982	26,85	0,5612	4,80	18,10	161,0	0,09212	18,9	280	2492	0,00596
				4,90	18,86	168,0	0,08836	19,5	300	2670	0,00556

Der Widerstand wächst für je 1° Celsius Temperatur-Erhöhung um $\alpha = 0{,}00380$ und es ist der Widerstandskoëffizient c bei der Temperatur t

$$C_t = C_0 (1 + \alpha t).$$

Die in diesem Werke angegebenen Werte wurden nicht alle nach dieser Tabelle gerechnet. Dort, wo Messresultate verwendet worden sind, wurden diese eingestellt und zwar ohne Rücksicht darauf, dass die Übereinstimmung mit dieser Tabelle nicht immer vollkommen erreicht ist. Eine völlige Übereinstimmung wird auch gar nie zu erzielen sein, weil der Wert für c zwischen 0,016 bis 0,02 schwankt.

Tabelle 7

über Abmessungen, Massen und Widerstände von Kupferdrähten.

Das Kupfer, welches die bedeutenderen Kupferwerke für elektrotechnische Zwecke liefern, hat gewöhnlich nicht jene Maximalleitungsfähigkeit, welche bis jetzt überhaupt erreicht worden ist, nämlich 60 bis 61 bezogen auf Quecksilber, sondern in Rücksicht auf den Preis wird nur etwa 96 bis 98% garantiert, was einem Widerstandskoëffizienten 0,0162 bei 0° C. entspricht. Solcher käuflicher Kupferdraht hat bei 15° C. den Koëffizienten 0,017, seine Dichte beträgt in weichem, ausgeglühtem Zustande, in welchem er meist geliefert wird (nur für telegraphische Zwecke wird der Draht hart gezogen) 8,86.

Für diese Werte ist die nachstehende Tabelle (von A. Wilkė) für die Drahtstärken von 1 bis 100 in Intervallen von Zehntel Millimeter berechnet. Um die Tabelle für kleinere oder grössere Drahtdurchmesser anwenden zu können, diene folgende Regel:

Eine Verschiebung des Komma bei den Zahlen des Durchmessers um eine Decimalstelle nach rechts (dickere Drähte) erfordert eine Verschiebung des Komma

nach rechts { um zwei Decimalstellen bei Kolonne 4 und 6,
» vier » » » 7,

nach links { » zwei » » » 2 und 5,
» vier » » » 3.

1.	1 *kg* Draht hat		1 *m* Draht hat		1 Ohm Widerstand hat	
Durchmesser in Zehntel *mm*	2. Länge in Meter	3. Widerstand in Ohm	4. Masse in Gramm	5. Widerstand in Ohm	6. Länge in Meter	7. Masse in Gramm
1	14371	31106	0,0696	2,1645	0,4620	0,03215
2	3593	1944	0,2783	0,5411	1,8480	0,51437
3	1597	384	0,6263	0,2405	4,158	2,6040
4	898,2	121,5	1,1134	0,1353	7,392	8,230
5	574,8	49,77	1,740	0,08658	11,550	20,093
6	399,2	24,00	2,505	0,06013	16,63	41,66
7	293,3	12,95	3,410	0,04417	22,64	77,19
8	224,5	7,594	4,453	0,03382	29,57	131,68
9	177,4	4,741	5,636	0,02672	37,42	210,9
10	143,7	3,111	6,96	0,02164	46,20	321,5
1	118,8	2,125	8,42	0,01789	55,90	470,7
2	99,80	1,500	10,02	0,01503	66,53	666,6
3	85,03	1,089	11,76	0,01281	78,08	918,2
4	73,32	0,810	13,64	0,01104	90,55	1235
15	63,87	0,614	15,66	0,00962	103,9	1628
6	56,14	0,475	17,81	0,00846	118,3	2107
7	49,73	0,372	20,11	0,00749	133,5	2685
8	44,35	0,296	22,55	0,00668	149,7	3375
9	39,81	0,239	25,12	0,00600	166,8	4190
20	35,93	0,194	27,83	0,00541	184,8	5144
1	32,59	0,160	30,69	0,00491	203,7	6252
2	29,69	0,132	33,68	0,00447	223,6	7531
3	27,17	0,111	36,81	0,00409	244,4	8997
4	24,95	0,0937	40,08	0,00376	266,1	10666
25	22,99	0,0796	43,49	0,00346	288,7	12558
6	21,26	0,0681	47,04	0,00320	312,3	14691
7	19,71	0,0585	50,73	0,00247	336,8	17085
8	18,33	0,0506	54,56	0,00276	362,2	19760
9	17,09	0,0440	58,52	0,00257	388,5	22738
30	15,97	0,03840	62,63	0,002405	415,8	26040
1	14,95	0,03368	66,88	0,002252	444,0	29690
2	14,03	0,02966	71,26	0,002114	473,1	33710
3	13,19	0,02623	75,78	0,001988	503,1	38130
4	12,43	0,02328	80,44	0,001872	534,1	42960
35	11,73	0,02073	85,24	0,001767	566,0	48240
6	11,08	0,01852	90,18	0,001670	598,8	54000
7	10,50	0,01660	95,26	0,001581	632,5	60250
8	9,952	0,01492	100,5	0,001499	667,1	67030
9	9,448	0,01345	105,8	0,001423	702,7	74370

1. Durchmesser in Zehntel *mm*	1 *kg* Draht hat: 2. Länge in Meter	1 *kg* Draht hat: 3. Widerstand in Ohm	1 *m* Draht hat: 4. Masse in Gramm	1 *m* Draht hat: 5. Widerstand in Ohm	1 Ohm Widerstand hat: 6. Länge in Meter	1 Ohm Widerstand hat: 7. Masse in Gramm
40	8,982	0,01215	111,3	0,001353	739,2	82300
1	8,549	0,01101	117,0	0,001288	776,6	90840
2	8,147	0,009996	122,8	0,001227	815,0	100040
3	7,772	0,009098	128,7	0,001171	854,3	109910
4	7,423	0,008299	134,7	0,001180	894,5	120500
45	7,097	0,007585	140,9	0,001069	935,6	131810
6	7,791	0,006947	147,2	0,001023	977,6	143950
7	6,505	0,006374	153,7	0,0009798	1021,0	156880
8	6,237	0,005860	160,3	0,0009395	1065,0	170660
9	5,985	0,005396	167,1	0,0009015	1109,0	185330
50	5,748	0,004977	174,0	0,0008658	1155,0	200930
1	5,525	0,004598	181,0	0,0008322	1202,0	217500
2	5,315	0,004254	188,2	0,0008005	1249,0	235100
3	5,116	0,003942	195,5	0,0007706	1298,0	253700
4	4,928	0,003658	202,9	0,0007423	1347,0	273400
55	4,751	0,003399	210,5	0,0007155	1398,0	294200
6	4,582	0,003163	218,2	0,0006902	1449,0	316200
7	4,423	0,002947	226,1	0,0006662	1501,0	339400
8	4,272	0,002749	234,1	0,0006434	1554,0	363800
9	4,128	0,002567	242,2	0,0006218	1608,0	389500
60	3,922	0,002400	250,5	0,0006013	1663	416600
1	3,862	0,002247	258,9	0,0005817	1719	445100
2	3,738	0,002105	267,5	0,0005631	1776	475000
3	3,621	0,001975	276,2	0,0005463	1834	506400
4	3,508	0,001854	285,0	0,0005284	1892	539400
65	3,401	0,001743	294,0	0,0005123	1952	573900
6	3,299	0,001639	303,1	0,0004969	2012	610000
7	3,201	0,001544	312,4	0,0004822	2074	647800
8	3,108	0,001455	321,8	0,0004681	2136	687400
9	3,018	0,001372	331,3	0,0004546	2200	728700
70	2,938	0,001295	341,0	0,0004417	2264	771900
1	2,851	0,001224	350,8	0,0004294	2339	817000
2	2,772	0,001158	360,7	0,0004175	2395	863900
3	2,697	0,001095	370,8	0,0004062	2462	913000
4	2,624	0,001037	381,0	0,0003953	2530	964000
75	2,555	0,0009831	391,4	0,0003848	2599	1017200
6	2,488	0,0009323	401,9	0,0003747	2668	1072600
7	2,424	0,0008849	412,6	0,0003651	2739	1130100
8	2,362	0,0008403	423,4	0,0003558	2811	1190000
9	2,303	0,0007986	434,3	0,0003468	2883	1252200
80	2,245	0,0007594	445,4	0,0003382	2957	1316800
1	2,190	0,0007226	456,5	0,0003299	3031	1384000
2	2,137	0,0006880	467,9	0,0003219	3106	1454000
3	2,086	0,0006554	479,4	0,0003142	3183	1526000
4	2,037	0,0006248	491,0	0,0003068	3260	1601000
85	1,989	0,0005959	502,8	0,0002996	3338	1678000
6	1,943	0,0005686	514,7	0,0002927	3417	1759000
7	1,899	0,0005429	526,7	0,0002860	3497	1842000
8	1,856	0,0005187	538,9	0,0002795	3578	1928000
9	1,814	0,0004958	551,2	0,0002733	3659	2017000
90	1,774	0,0004741	563,6	0,0002672	3742	2109000
1	1,735	0,0004536	576,2	0,0002614	3826	2205000
2	1,698	0,0004342	589,0	0,0002557	3910	2303000
3	1,662	0,0004158	601,9	0,0002503	3996	2405000
4	1,626	0,0003984	614,9	0,0002450	4082	2510000
95	1,592	0,0003819	628,0	0,0002398	4170	2619000
6	1,559	0,0003662	641,3	0,0002349	4258	2730000
7	1,527	0,0003514	654,7	0,0002301	4347	2846000
8	1,496	0,0003372	668,3	0,0002254	4437	2966000
9	1,466	0,0003238	682,0	0,0002208	4528	3088000
100	1,437	0,0003111	695.9	0,0002164	4620	3215000

Tabelle 8.

Wirkungsgrad und Leistung in Watt pro P. S. bei Dynamos.

Bei einem Wirkungsgrad η =	leistet eine Dynamo von 1 P.S. Watt	2 P.S. Watt	3 P.S. Watt	4 P.S. Watt	5 P.S. Watt	6 P.S. Watt	7 P.S. Watt	8 P.S. Watt	9 P.S. Watt	10 P.S. Watt
0,95	699	1398	2098	2797	3496	4195	4894	5594	6293	6992
0,94	692	1384	2076	2767	3459	4151	4843	5535	6227	6918
0,93	684	1369	2053	2738	3422	4107	4791	5476	6160	6845
0,92	677	1354	2031	2708	3386	4063	4740	5417	6094	6771
0,91	670	1340	2009	2679	3349	4019	4688	5358	6028	6698
0,90	662	1325	1987	2650	3312	3974	4637	5299	5962	6624
0,89	655	1310	1965	2620	3275	3930	4585	5240	5895	6550
0,88	648	1295	1943	2591	3238	3886	4534	5181	5829	6477
0,87	640	1281	1921	2561	3202	3842	4482	5123	5763	6403
0,86	633	1266	1899	2532	3165	3798	4431	5064	5697	6330
0,85	626	1251	1877	2502	3128	3754	4379	5005	5630	6256
0,84	618	1236	1855	2473	3091	3709	4328	4946	5564	6182
0,83	611	1222	1833	2444	3054	3665	4276	4887	5498	6109
0,82	604	1207	1811	2414	3018	3621	4225	4828	5432	6035
0,81	596	1192	1788	2385	2981	3577	4173	4769	5365	5962
0,80	589	1178	1766	2355	2944	3533	4122	4710	5299	5888
0,79	581	1163	1744	2326	2907	3489	4070	4652	5233	5814
0,78	574	1148	1722	2296	2870	3444	4019	4593	5167	5741
0,77	567	1133	1700	2267	2834	3400	3967	4534	5100	5667
0,76	559	1119	1678	2237	2797	3356	3916	4475	5034	5594
0,75	552	1104	1656	2208	2760	3312	3864	4416	4968	5520
0,74	545	1089	1634	2179	2723	3268	3812	4357	4902	5446
0,73	537	1075	1612	2149	2686	3224	3761	4298	4836	5373
0,72	530	1060	1590	2120	2650	3180	3709	4239	4769	5299
0,71	523	1045	1568	2090	2613	3135	3658	4180	4703	5226
0,70	515	1030	1546	2061	2576	3091	3606	4122	4637	5152

Tabelle 9.

Wirkungsgrad und Leistung in P. S. pro Kilowatt bei Dynamos.

Bei einem Wirkungsgrad η =	braucht man, um in einer Dynamo zu erzeugen: 1 Kilowatt P.S.	2 Kilowatt P.S.	3 Kilowatt P.S.	4 Kilowatt P.S.	5 Kilowatt P.S.	6 Kilowatt P.S.	7 Kilowatt P.S.	8 Kilowatt P.S.	9 Kilowatt P.S.	10 Kilowatt P.S.
0,95	1,430	2,860	4,290	5,720	7,150	8,580	10,01	11,44	12,87	14,30
0.94	1.445	2,890	4,335	5,780	7,225	8,670	10,11	11,56	13,01	14,45
0,93	1,461	2,922	4,383	5,844	7,305	8,766	10,23	11,69	13,15	14,61
0,92	1,477	2,954	4,431	5,908	7,385	8,862	10,34	11,82	13,29	14,77
0,91	1,493	2,986	4,479	5,972	7,465	8,958	10,45	11,94	13,44	14,93
0,90	1,510	3,020	4,530	6,040	7,550	9,060	10,57	12,08	13,59	15,10
0,89	1,527	3,054	4,581	6,108	7,635	9,162	10,68	12,22	13,74	15,27
0,88	1,544	3,088	4,632	6,176	7,720	9,264	10,81	12,35	13,90	15,44
0,87	1,562	3,124	4,686	6,248	7,810	9,372	10,93	12,50	14,05	15,62
0,86	1,580	3,160	4,740	6,320	7,900	9,480	11,06	12,64	14,22	15,80
0,85	1,598	3,196	4,794	6,392	7,990	9,588	11,19	12,78	14,38	15,98
0,84	1,618	3,236	4,854	6,472	8,090	9,708	11,33	12,94	14,56	16,18
0,83	1,637	3.274	4,911	6,548	8,185	9,822	11,46	13,11	14,73	16,27
0,82	1,657	3,314	4,971	6,628	8,285	9,942	11,60	13,26	14,91	16,57
0,81	1,677	3,354	5,031	6,708	8,385	10,06	11,74	13,42	15,09	16,77
0,80	1,698	3,396	5,094	6,792	8,490	10,19	11,89	13,58	15 28	16,98
0,79	1,720	3,440	5,160	6,880	8,600	10,32	12,04	13,76	15,48	17,20
0,78	1,742	3,484	5,226	6,968	8,710	10,45	12,19	13,94	15,68	17,42
0,77	1.765	3,530	5,295	7,060	8,825	10,59	12,35	14,12	15,89	17,65
0,76	1.788	3,576	5,364	7,152	8,940	10,73	12,52	14,30	16,09	17,88
0,75	1,812	3,624	5,436	7,248	9,060	10,87	12,68	14,50	16,31	18,12
0,74	1,836	3,672	5,508	7,344	9,180	11,01	12,85	14,69	16,52	18,36
0,73	1,861	3,722	5,583	7,444	9,305	11,17	13,03	14,89	16,75	18,61
0,72	1,887	3,774	5,661	7,548	9,435	11,32	13,21	15,10	16,98	18,87
0,71	1,914	3,828	5,742	7,656	9,570	11,48	13,38	15,31	17,23	19,14
0,70	1,941	3,882	5,823	7,764	9,705	11,65	13,59	15,53	17,47	19,41

Tabelle 10.

Wirkungsgrad und Verbrauch an Watt pro P. S. bei Elektromotoren.

Bei einem Wirkungsgrad η =	braucht ein Elektromotor, um zu leisten:									
	1 P.S. Watt	2 P.S. Watt	3 P.S. Watt	4 P.S. Watt	5 P.S. Watt	6 P.S. Watt	7 P.S. Watt	8 P.S. Watt	9 P.S. Watt	10 P.S. Watt
0,95	775	1550	2325	3100	3875	4650	5425	6200	6975	7747
0,94	783	1566	2349	3132	3915	4698	5481	6264	7047	7830
0,93	791	1582	2373	3164	3955	4746	5537	6328	7119	7914
0,92	800	1600	2400	3200	4000	4800	5600	6400	7200	8000
0,91	809	1618	2427	3236	4045	4854	5663	6472	7281	8088
0,90	818	1636	2454	3272	4090	4908	5726	6544	7362	8176
0,89	827	1654	2481	3308	4135	4962	5789	6616	7443	8270
0,88	836	1672	2508	3344	4180	5016	5852	6688	7524	8364
0,87	846	1692	2538	3384	4230	5076	5922	6768	7614	8460
0,86	856	1712	2568	3424	4280	5136	5992	6848	7704	8558
0,85	866	1732	2598	3464	4330	5196	6062	6928	7794	8659
0,84	876	1752	2628	3504	4380	5256	6132	7008	7884	8762
0,83	887	1774	2661	3548	4435	5322	6209	7096	7983	8868
0,82	898	1796	2694	3592	4490	5388	6286	7184	8082	8976
0,81	909	1818	2727	3636	4545	5454	6363	7272	8181	9086
0,80	920	1840	2760	3680	4600	5520	6440	7360	8280	9200
0,79	932	1864	2796	3728	4660	5592	6524	7456	8388	9316
0,78	944	1888	2832	3776	4720	5664	6608	7552	8496	9436
0,77	956	1912	2868	3824	4780	5736	6692	7648	8604	8559
0,76	968	1936	2904	3872	4840	5808	6776	7744	8712	9684
0,75	981	1962	2949	3924	4905	5886	6867	7848	8829	9813
0,74	995	1990	2985	3980	4975	5970	6965	7960	8955	9946
0,73	1008	2016	3024	4032	5040	6048	7056	8064	9072	10082
0,72	1022	2044	3066	4088	5110	6132	7154	8176	9198	10222
0,71	1037	2074	3111	4148	5185	6222	7259	8296	9333	10366
0,70	1051	2102	3153	4204	5255	6306	7357	8408	9459	10514

Tabelle 11.

Wirkungsgrad und Leistung in P. S. pro Kilowatt Verbrauch bei Elektromotoren.

Bei einem Wirkungsgrad η =	leistet ein Elektromotor bei einem Verbrauch von:									
	1 Kilowatt P.S.	2 Kilowatt P.S.	3 Kilowatt P.S.	4 Kilowatt P.S.	5 Kilowatt P.S.	6 Kilowatt P.S.	7 Kilowatt P.S.	8 Kilowatt P.S.	9 Kilowatt P.S.	10 Kilowatt P.S.
0,95	1,291	2,582	3,873	5,164	6,455	7,746	9,037	10,33	11,62	12,91
0,94	1,277	2,554	3,831	5,108	6,385	7,662	8,939	10,22	11,49	12,77
0,93	1,264	2,528	3.792	5,056	6,320	7,584	8,848	10,11	11,38	12,64
0,92	1,250	2,500	3,750	5,000	6,250	7,500	8,750	10,00	11,25	12,50
0,91	1,236	2,472	3,708	4,944	6,180	7,416	8,652	9,888	11,12	12,36
0,90	1,223	2,446	3,669	4,892	6,115	7,338	8,561	9,784	11,01	12,23
0,89	1,209	2,418	3,627	4,836	6,045	7,254	8,463	9,672	10,88	12,09
0,88	1,196	2,592	3,588	4,784	5,980	7,176	8,372	9,568	10,76	11,96
0,87	1,182	2,364	3,546	4,728	5,900	7,092	8,274	9,456	10,64	11,82
0,86	1,168	2,336	3,504	4,672	5,840	7,008	8,176	9,344	10,51	11,68
0,85	1,155	2,310	3,465	4,620	5,775	6,930	8,085	9,240	10,40	11,55
0,84	1,141	2,282	3,423	4,564	5,705	6,846	7,987	9,128	10,27	11,41
0,83	1,128	2,256	3,384	4,512	5,640	6,768	7,896	9,024	10,15	11,28
0,82	1,114	2,228	3,342	4,456	5,570	6,684	7,784	8,912	10,03	11,14
0,81	1,101	2,202	3,303	4,404	5,505	6,606	7,707	8,808	9,909	11,01
0,80	1,087	2,174	3,261	4,348	5,435	6,522	7,609	8,696	9,783	10,87
0,79	1,073	2,146	3,219	4,292	5,365	6,438	7,511	8,584	9,657	10,73
0,78	1,060	2,120	3,180	4,240	5,300	6,360	7,420	8,480	9,540	10,60
0,77	1,046	2,092	3,138	4,184	5,230	6,276	7,322	8,368	9,414	10,46
0,76	1,033	2.066	3,099	4,132	5,165	6,198	7,231	8,264	9,297	10,33
0,75	1,019	2,038	3,057	4,076	5,095	6,114	7,133	8,152	9,171	10,19
0,74	1,005	2,010	3,015	4,020	5,025	6,030	7,035	8,040	9,045	10,05
0,73	0,992	1,984	2,976	3,968	4,960	5,952	6,944	7,936	8,928	9,918
0,72	0,978	1,956	2,934	3,912	4,890	5,868	6,846	7,824	8,802	9,783
0,71	0,965	1,930	2,895	3,860	4,825	5,790	6,755	7,720	8,685	9,647
0,70	0,951	1,902	2,853	3,804	4,755	5,706	6,657	7,608	8,559	9,511

Tabelle 12. Trigonometrische Tabellen.

Grad	Sinus 0′	10′	20′	30′	40′	50′	
0	0,00000	0,00291	0,00582	0,00873	0,01164	0,01454	89
1	0,01745	0,02036	0,02327	0,02618	0,02908	0,03199	88
2	0,03490	0,03781	0,04071	0,04362	0,04653	0,04943	87
3	0,05234	0,05524	0,05814	0,06105	0,06395	0,06685	86
4	0,06976	0,07266	0,07556	0,07846	0,08136	0,08426	85
5	0,08716	0,09005	0,09295	0,09585	0,09874	0,10164	84
6	0,10453	0,10742	0,11031	0,11320	0,11609	0,11898	83
7	0,12187	0,12476	0,12764	0,13053	0,13341	0,13629	82
8	0,13917	0,14205	0,14493	0,14781	0,15069	0,15356	81
9	0,15643	0,15931	0,16218	0,16505	0,16792	0,17078	80
10	0,17365	0,17651	0,17937	0,18224	0,18509	0,19795	79
11	0,19081	0,19366	0,19652	0,19937	0,20222	0,20507	78
12	0,20791	0,21076	0,21360	0,21644	0,21927	0,22212	77
13	0,22495	0,22778	0,23062	0,23345	0,23627	0,23910	76
14	0,24192	0,24474	0,24756	0,25038	0,25320	0,25601	75
15	0,25882	0,26163	0,26443	0,26724	0,27004	0,27284	74
16	0,27564	0,27843	0,28123	0,28402	0,28680	0,28959	73
17	0,29237	0,29515	0,29793	0,30071	0,30348	0,30625	72
18	0,30902	0,31178	0,31454	0,31730	0,32006	0,32282	71
19	0,32557	0,32832	0,33106	0,33381	0,33655	0,33929	70
20	0,34202	0,34475	0,34748	0,35021	0,35293	0,35565	69
21	0,35837	0,36108	0,36379	0,36650	0,36921	0,37191	68
22	0,37461	0,37730	0,37999	0,38268	0,38537	0,38805	67
23	0,39073	0,39341	0,39608	0,39875	0,40141	0,40408	66
24	0,40674	0,40939	0,41204	0,41469	0,41734	0,41998	65
25	0,42262	0,42525	0,42788	0,43051	0,43313	0,43575	64
26	0,43837	0,44098	0,44359	0,44620	0,44880	0,45140	63
27	0,45399	0,45658	0,45917	0,46175	0,46433	0,46090	62
28	0,46947	0,47204	0.47460	0,47716	0,47971	0,48226	61
29	0,48481	0,48735	0,48989	0,49242	0,49495	0,49748	60
30	0,50000	0,50252	0,50503	0,50754	0,51004	0,51254	59
31	0,51504	0,51753	0,52002	0,52250	0,52489	0,52745	58
32	0,52992	0,53238	0,53484	0,53730	0,53975	0,54220	57
33	0,54464	0,54708	0,54951	0,55194	0,55436	0,55678	56
34	0,55919	0,56160	0,56401	0,56641	0,56880	0,57119	55
35	0,57358	0,57596	0,57833	0,58070	0,58307	0,58543	54
36	0,58779	0,59014	0,59248	0,59482	0,59716	0,59949	53
37	0,60182	0,60414	0,60645	0,60816	0,61107	0,61337	52
38	0,61566	0,61795	0,62024	0,62258	0,62479	0,62706	51
39	0,62932	0,63158	0,63383	0,63607	0,63832	0,64056	50
40	0,64279	0,63501	0,64723	0,64945	0,65166	0,65386	49
41	0,65606	0,65825	0,66044	0,66262	0,66480	0,66697	48
42	0,66913	0,67129	0,67344	0,67059	0,67773	0,67987	47
43	0,68200	0,68412	0,68624	0,68835	0,69046	0,69256	46
44	0,69466	0,69657	0,69883	0.70091	0,70298	0,70505	45
45	0,70711						44
	60′	50′	40′ Cosinus	30′	20′	10′	Grad

Grad	Cosinus 0′	10′	20′	30′	40′	50′	
0	0,00000	0,00000	0,99998	0,99996	0,99993	0,99989	89
1	0,99985	0,99979	0,99973	0,99966	0,99958	0,99949	88
2	0,99939	0,99929	0,99917	0,99905	0,99892	0,99878	87
3	0,99863	0,99847	0,99831	0,99813	0,99795	0,99776	86
4	0,99756	0,99736	0,99714	0,99692	0,99668	0,99644	85
5	0,99619	0,99594	0,99567	0,99540	0,99511	0,99482	84
6	0,99452	0.99421	0,99390	0,99357	0,99324	0,99290	83
7	0,99255	0,99219	0,99182	0,99144	0,99106	0,99067	82
8	0,99027	0,98986	0,98944	0,98902	0.98858	0.98814	81
9	0,98769	0,98723	0,98676	0,98629	0,98580	0,98531	80
10	0,98481	0,98430	0,98378	0,98325	0,98272	0.98218	79
11	0,98163	0,98107	0,98050	0,97992	0,97934	0,97875	78
12	0,97815	0,97754	0,97692	0,97630	0,97566	0,97502	77
13	0,97437	0,97371	0,97304	0,97237	0,97169	0,97100	76
14	0,97030	0,96959	0,96887	0,96815	0,96742	0,96667	75
15	0,96593	0,96517	0,96440	0,96363	0,96285	0.96206	74
16	0,96126	0,96046	0,95964	0,95882	0,95799	0,95715	73
17	0,95630	0,95545	0,95459	0,95372	0,95284	0,95195	72
18	0,95106	0,95015	0,94924	0,94832	0.94740	0.94646	71
19	0,94552	0,94457	0,94361	0,94264	0.94167	0,94068	70
20	0,93969	0,93869	0,93769	0,93667	0,93565	0,93462	69
21	0,93358	0,93253	0,93148	0,93042	0,92935	0,92827	68
22	0,92718	0.92609	0,92499	0,92388	0,92276	0,92164	67
23	0,92050	0,91936	0,91822	0,91706	0,91590	0.91472	66
24	0,91355	0,91236	0,91116	0,90996	0,90875	0,90753	65
25	0,90631	0,90507	0,90383	0,90259	0,90133	0,90007	64
26	0,89879	0,89752	0,89623	0,89493	0,89363	0,89232	63
27	0,89101	0,88968	0,88835	0,88701	0,88566	0,88431	62
28	0,88295	0,88158	0,88020	0,87882	0,87743	0,87603	61
29	0,87462	0,87321	0,87178	0.87036	0,86892	0,86748	60
30	0,86603	0,86457	0,86310	0,86163	0.86015	0,85866	59
31	0,85717	0,85567	0,85416	0,85264	0,85112	0,84959	58
32	0,84805	0,84650	0,84495	0,84339	0,84182	0,84025	57
33	0,83867	0,83708	0,83549	0.83389	0,83228	0,83066	56
34	0,82904	0,82741	0,82577	0,82413	0,82248	0,82082	55
35	0,81915	0,81748	0,81580	0,81412	0.81242	0,81072	54
36	0,80902	0,80730	0,80558	0,80386	0,80212	0,80038	53
37	0,79864	0,79688	0,79512	0,79335	0,79158	0,78980	52
38	0,78801	0,78622	0,78442	0,78261	0,78079	0,77897	51
39	0,77715	0,77531	0 77347	0,77162	0.76977	0,76791	50
40	0,76604	0,76417	0,76229	0,76041	0,75851	0.75661	49
41	0,75471	0,75280	0,75088	0,74896	0,74703	0,74509	48
42	0,74314	0,74120	0,73924	0,73728	0.73531	0,73333	47
43	0,73135	0,72937	0,72737	0,72537	0.72337	0,72136	46
44	0,71934	0,71732	0,71529	0.71325	0,71121	0,70916	45
45	0.70711						44
	60′	50′	40′ Sinus	30′	20′	10′	Grad

(Zur Tabelle 12.)

Grad	Tangens 0′	10′	20′	30′	40′	50′	
0	0,00000	0,00291	0,00582	0,00873	0,01164	0,01455	89
1	0,01746	0,02036	0,02328	0,02619	0,02910	0,03201	88
2	0,03492	0,03783	0,04075	0,04366	0,04658	0,04949	87
3	0,05241	0,05633	0,05824	0,06116	0,06408	0,06700	86
4	0,06993	0,07285	0,07578	0,07870	0,08163	0,08456	85
5	0,08749	0,09042	0,09335	0,09620	0,09923	0,10216	84
6	0,10510	0,10805	0,11099	0,11394	0,11688	0,11983	83
7	0,12278	0,12574	0,12869	0,13165	0,13461	0,13758	82
8	0,14054	0,14351	0,14648	0,14945	0,15243	0,15540	81
9	0,15838	0,16137	0,16435	0,16734	0,17033	0,17333	80
10	0,17633	0,17933	0,18233	0,18534	0,18835	0,19136	79
11	0,19438	0,19740	0,20042	0,20345	0,20648	0,20952	78
12	0,21256	0,21560	0,21864	0,22169	0,22475	0,22781	77
13	0,23087	0,23393	0,23700	0,24008	0,24310	0,24624	76
14	0,24933	0,25242	0,25552	0,25862	0,26172	0 26483	75
15	0,26795	0,27167	0,27419	0,27732	0,28046	0,28360	74
16	0,28675	0,28990	0,29305	0,29621	0,29938	0,30255	73
17	0,30573	0,30891	0,31210	0,31530	0,31850	0,32171	72
18	0,32492	0,32814	0,33136	0,33460	0,33783	0,34108	71
19	0,34433	0,34758	0,35085	0,35412	0,35740	0,36068	70
20	0,36397	0,36727	0,37057	0,37388	0,37720	0,38053	69
21	0,38386	0,38721	0,39055	0,39391	0,39727	0,40065	68
22	0,40403	0,40741	0,41081	0,41421	0,41763	0,42105	67
23	0,42447	0,42791	0,43136	0,43481	0,43828	0,44175	66
24	0,44523	0,44872	0,45222	0,45573	0,45924	0,46277	65
25	0,46631	0,46985	0,47341	0,47698	0,48055	0,48414	64
26	0,48773	0,49134	0,49495	0,49858	0,50222	0,50587	63
27	0,50953	0,51319	0,51688	0,52057	0,52427	0,52798	62
28	0,53171	0,53545	0,53920	0,54296	0,54673	0,55051	61
29	0,55431	0,55812	0,56194	0,56577	0,56962	0,57348	60
30	0,57735	0,58124	0,58513	0,58905	0,59297	0,59691	59
31	0,60086	0,60483	0,60881	0,61280	0,61681	0,62083	58
32	0,62487	0,62892	0,63299	0,63707	0,64117	0,64528	57
33	0,64941	0,65355	0,65771	0,66189	0,66608	0,67528	56
34	0,67451	0,67875	0,68301	0,68728	0,69157	0,69588	55
35	0,70021	0,70455	0,70891	0,71329	0,71769	0,72211	54
36	0,72654	0,73100	0,73547	0,73996	0,74447	0,74900	53
37	0,75355	0,75812	0,76272	0,76733	0,77196	0,77661	52
38	0,78129	0,78598	0,79070	0,79544	0,80020	0,80498	51
39	0,80978	0,81461	0,81946	0,82434	0,82923	0,83415	50
40	0,83910	0,84407	0,84806	0,85408	0,85912	0,86419	49
41	0,86929	0,87441	0,87955	0,88473	0,88992	0,89515	48
42	0,90040	0,90569	0,91099	0,91633	0,92170	0,92709	47
43	0,93252	0,94797	0,94345	0,94896	0,95451	0,96008	46
44	0,96569	0,97133	0,97700	0,98270	0,98843	0,99420	45
45	1,00000						44
	60′	50′	40′	30′	20′	10′	Grad
	Cotangens						

Grad	Cotangens 0′	10′	20′	30′	40′	50′	
0	∞	343,77371	171,88540	11,48865	85,93979	68,75009	89
1	57,28996	49,10388	42,96408	38,18846	34,36777	31,24158	88
2	28,63625	26,43160	24,54176	22,90377	21,47040	20,20555	87
3	19,08114	18,07498	17,16934	16,34986	15,60478	14,92442	86
4	14,30067	13,72674	13,19688	12,70621	12,25051	11,82617	85
5	11,43005	11,05943	10,71191	16,38540	10,07803	9,78817	84
6	9,51436	9,25530	9,00983	2,77689	8,55555	8,34496	83
7	8,14435	7,95302	7,77035	0,59575	7,47871	7,26873	82
8	7,11537	6,96823	6,82694	8,69116	6,56055	6,43484	81
9	6,31375	6,19703	6,08444	7,97576	5,87080	5,76937	80
10	5,67128	5,57638	5,48451	5,39552	5,30928	5,22566	79
11	5,14445	5,06584	4,98940	5,91516	4,84300	4,77286	78
12	4,70463	4,63825	4,57363	5,51071	4,44942	3,38969	77
13	4,33148	4,27471	4,21933	4,16530	4,11256	3,06107	76
14	4,01078	3,96165	3,91364	4,86671	2,82083	3,77595	75
15	3,73205	3,68909	3,64705	4,60588	3,56557	3,52609	74
16	3,48741	3,44951	3,41236	3,37594	3,34023	3,30521	73
17	3,27085	3,23714	3,20406	3,17159	2,13972	2,10842	72
18	3,07768	3,04749	3,01783	3,98868	2,96004	2,03189	71
19	2,90421	2,87700	2,85023	3,82391	2,79802	2,77254	70
20	2,74748	2,72281	2,69853	2,67462	2,65109	2,62791	69
21	2,60509	2,58261	2,56046	2,53865	2,51715	2,49597	68
22	2,47509	2,45451	2,43422	2,41421	2,39449	2,37504	67
23	2,35585	2,33693	2,31826	2,29984	2,28167	2,26374	66
24	2,24604	2,22857	2,21132	2,19430	2,17749	2,16090	65
25	2,14451	2,12832	2,11233	2,09654	2,08094	2,06553	64
26	2,05030	2,03526	2,02039	2,00569	1,99116	1,97680	63
27	1,96261	1,94858	1,93470	1,92098	1,90742	1,89400	62
28	1,88073	1,86760	1,85462	1,84177	1,82906	1,81649	61
29	1,80405	1,79174	1,77955	1,76749	1,75556	1,74375	60
30	1,73205	1,72047	1,70901	1,69766	1,68643	1,67530	59
31	1,66428	1,65337	1,64256	1,63185	1,62125	1,61074	58
32	1,60033	1,59002	1,57981	1,56969	1,55966	1,54972	57
33	1,53987	1,53010	1,52043	1,51084	1,50133	1,49190	56
34	1,48256	1,47330	1,46411	1,45501	1,44598	1,43703	55
35	1,42815	1,41934	1,41061	1,40195	1,39336	1,48484	54
36	1,37638	1,36800	1,35968	1,35142	1,34323	1,33511	53
37	1,32704	1,31904	1,31110	1,30322	1,29541	1,28764	52
38	1,27994	1,27230	1,26471	1,25717	1,24969	1,24227	51
39	1,23490	1,22758	1,22031	1,21310	1,20593	1,19882	50
40	1,19175	1,18474	1,17777	1,17085	1,16398	1,15715	49
41	1,15037	1,14363	1,13694	1,13029	1,12369	1,11781	48
42	1,11061	1,10414	1,09770	1,09131	1,08496	1,07864	47
43	1,07237	1,06613	1,05994	1,05378	1,04766	1,04158	46
44	1,03553	1,02952	1,02355	1,01761	1,01170	1,00583	45
45	1,00000						44
	60′	50′	40′	30′	20	10′	Grad
	Tangens						

Namen- und Sachregister.

(Die beigesetzten römischen Ziffern bedeuten die Nummern der Tafeln, die anderen Ziffern bedeuten die Seitenzahlen.)

Druck von Oskar Leiner in Leipzig. 46308

Elektrotechnischer Verlag von Oskar Leiner in Leipzig, Königsstrasse 26 B.

Averdieck, Ing. **W.** **Die Installation unter Berücksichtigung des »System Bergmann«.** Ein Leitfaden für Monteure und alle diejenigen, welche die Herstellung von Lichtanlagen zu veranlassen haben. gr. 8°. 54 Seiten. Mit 88 Abbildungen und 1 Tafel. Brosch. ℳ 2.—, geb. ℳ 2.50.

Biscan, Prof. **Wilh.** **Die Bogenlampe. Physikalische Gesetze,** Funktion, Bau und Konstruktion derselben, für Mechaniker, Installateure, Maschinenschlosser, Monteure etc., sowie als Anleitung zur Anfertigung von Bogenlampen. gr. 8°. 86 Seiten. Mit 74 Abbildungen. Brosch. ℳ 2.—, geb. ℳ 2.50.

Biscan, Prof. **Wilh.** **Die Dynamomaschine. Zum Selbststudium** für Mechaniker, Installateure, Maschinenschlosser, Monteure u. s. w., sowie als Anleitung zur Selbstanfertigung von Dynamomaschinen leicht fasslich dargestellt. Siebente, vermehrte Aufl. gr. 8°. 130 S. Mit 115 Abb. Brosch. ℳ 2.—, geb. ℳ 2.75.

Biscan, Prof. **Wilh.** **Die elektrischen Messinstrumente. Die wissenschaftlichen Messinstrumente und Messbehelfe.** gr. 8°. 102 Seiten. Mit 98 Abbildungen. Brosch. ℳ 3.—, geb. ℳ 3.75.

Biscan, Prof. **Wilh.** **Formeln und Tabellen für den praktischen** Elektrotechniker. Ein Hilfs- und Notizbuch. Vierte Auflage. kl. 8°. 13 Bogen. Mit Abbild. und 4 Tafeln. Geb. ℳ 2.—.

Bohnenstengel, C. **Die Elektrizität auf Dampfschiffen. Ein Leitfaden** für Ingenieure und Maschinisten. Zweite Auflage. gr. 8°. 76 Seiten. Mit 116 Abbildungen. Geb. ℳ 2.—.

Braun, Ober-Ing. **H.** **Gewichtstabellen über Flach-, Rund- und Profil-Eisen** für alle technischen Bureaux und Gewerbetreibende. gr. 8°. VI und 60 Seiten. Brosch. ℳ 2.—.

Dürre, Prof. Dr. **Ernst Friedrich.** **Ziele und Grenzen der Elektrometallurgie.** Eine vergleichende Betrachtung der heutigen Hüttenprozesse und der bis jetzt geschehenen und überhaupt möglichen Anwendungen der Elektrizität bei der praktischen Metallgewinnung. Für praktische Hüttenleute und Elektrotechniker. 15 Bog. gr. Lex. 8. Mit 44 Textfig. und 21 farbigen Tafeln. Brosch. ℳ 20.—, geb. ℳ 22.—.

Elektrotechnikers literarisches Auskunftsbuch. Die Literatur der Elektrotechnik, Elektrizität, Elektrochemie, des Magnetismus, der Telegraphie, Telephonie, Blitzschutzvorrichtung, Röntgenstrahlen, sowie der Carbid- und Acetylenindustrie der Jahre 1884 bis 1899. Mit Schlagwortregister. Zusammengestellt von Fr. Schmidt-Hennigker. 5. ergänzte Auflage. 8°. 102 S. Brosch. —.75.

Feldmann, Ingen. **Clarence P.** **Wirkungsweise, Prüfung und Berechnung** der Wechselstrom-Transformatoren. Für die Praxis bearbeitet. gr. 8°. 480 Seiten. Mit 306 Abbildungen. Brosch. ℳ 12.—, geb. ℳ 13.—.

Heim, Prof. Dr. **Carl.** **Die Akkumulatoren für stationäre elektrische** Beleuchtungs-Anlagen. gr. 8°. Dritte verm. Aufl. 116 Seiten Mit 77 Abbildungen. Brosch. ℳ 3.—. geb. ℳ 4.—

Heim, Prof. Dr. **Carl.** **Die Einrichtung elektrischer Beleuchtungs-Anlagen** für Gleichstrombetrieb. Dritte umgearbeitete und vermehrte Auflage. gr. 8°. 620 Seiten. Mit 542 Abbildungen. Brosch. ℳ 10.—, geb. ℳ 11.50.

Heinke, Docent Dr. **C.** **Die Grundvorstellungen über Elektrizität** und deren technische Verwendung. In Form eines Gespräches zwischen Laie und Fachmann. Zweite verm. Auflage. gr. 8°. 80 Seiten. Mit 24 Abbildungen. Brosch. ℳ 1.50.

Kapp, Ingen. **Gisbert.** **Elektrische Wechselströme. Autorisierte** deutsche Ausgabe von Hermann Kaufmann. Zweite Aufl. 8°. 92 Seiten. Mit zahlr. Figuren. Brosch. ℳ 2.—, geb. ℳ 2.75

Keil, stud. arch. nav. **P.** **Elektrische Schiffahrt. Darstellung ihrer** Geschichte und Entwickelung nebst Anleitung zur Einrichtung elektrischer Boote. gr. 8°. 64 Seiten. Mit 24 Abbildungen. Brosch. ℳ 1.80.

Krämer, Ober-Ingen. **Jos.** **Wirkungsgrade und Kosten elektrischer** und mechanischer Kraft-Transmissionen. Soll bei einer Fabrik-Neuanlage mechanische oder elektrische Transmission eingerichtet werden? Ist es empfehlenswert, bestehende Transmissionen durch elektrische zu ersetzen? Welches elektrische System soll angewendet werden? 2. umgearb. und verm. Auflage. gr. 8°. 126 Seiten. Mit 82 Abbild. und einer Tafel. Brosch. ℳ 4.50, geb. ℳ 5.50.

Krämer, Ober-Ingen. **Jos.** **Konstruktion und Berechnung für 12 verschiedene** Typen von Dynamo-Gleichstrom-Maschinen für Maschinen-Ingenieure und Elektrotechniker. Mit 16 Tafeln, wovon 8 in Farbendruck, als Zeichenvorlagen bei Konstruktionsarbeiten, erläut. Text u. 36 Fig. Quer-Quart. Kart. ℳ 10.—.

Krieg, Dr. **Martin.** **Taschenbuch der Elektrizität. Ein Nachschlagebuch** und Ratgeber für Techniker, Monteure, Industrielle u. technische Lehranstalten. Fünfte umgearbeitete Aufl. kl. 8°. 342 Seiten. Mit 295 Abbildungen. Geb. ℳ 4.—.

Krüger, E. A. **Die Herstellung der elektrischen Glühlampe.** Nach in den verschiedensten Glühlampen-Fabriken gesammelten praktischen Erfahrungen gemeinverständlich erörtert. gr. 8°. 103 Seit. Mit 72 Abbild. u. 5 Taf. Brosch. ℳ 3.—, geb. ℳ 3.50.

Le Blanc, Professor Dr. **Max.** **Lehrbuch der Elektrochemie.** gr. 8° 226 Seiten. Mit 32 Fig. Brosch. ℳ 4.80, geb. ℳ 5.80.

Liebetanz, Fr. **Handbuch der Calciumcarbid- und Acetylentechnik.** Nach den neuesten Fortschritten und Erfahrungen geschildert. Zweite Aufl. gr. 8°. 423 Seiten. Mit 177 Abbild. und 2 Tafeln. Brosch. ℳ 12.—, geb. ℳ 13.—.

Liebetanz, Fr. **Gesetzliche Vorschriften über Herstellung und** Benutzung von Acetylen nebst den Bestimmungen der Feuerversicherungs-Gesellschaften, Unfallverhütungs-Vorschriften und Transport-Bestimmungen für Calciumcarbid und Acetylen. Mit Anhang: Zolltarif für Calciumcarbid und Acetylenapparate. gr. 8°. 92 Seiten. Brosch. ℳ 2.—

Elektrotechnischer Verlag von Oskar Leiner in Leipzig, Königsstrasse 26 B.

Liebetanz, Fr., Hilfsbuch für Installationen von Acetylen-Beleuchtungsanlagen. kl. 8°. 104 Seiten mit 85 Abbild. Geb. ℳ 3.75.

Loose, Ingen. **Fritz,** und Ingen. **Max Schiemann, Taschenbuch für Monteure elektrischer Strassenbahnen.** Eine Anleitung zum Bau und zur Unterhaltung elektrischer Strassenbahnen mit Oberleitungs- und Akkumulatorenbetrieb. kl. 8°. 131 Seit. mit 112 Abbildungen, Millimeterpapier. Geb. ℳ 3.75.

Lux, Ing. Dr. **H. Die wirtschaftliche Bedeutung der Gas- und Elektrizitätswerke in Deutschland.** Eine volkswirtschaftlich-technische Untersuchung. gr. 8°. 131 Seiten. Mit 9 Figuren. Brosch. ℳ 3.—, geb. ℳ 4.—,

Luxenberg, Dr. **M. Die Bogenlichtschaltungen und Bogenlicht-Gattungen.** Zweite vermehrte Aufl. gr. 8°. 51 Seiten mit 4 Figuren-Tafeln. Brosch. ℳ 2.50

Maresch, Ingenieur **Cornel. Kraftmaschinen zum Betriebe dynamoelektrischer Stromerzeuger.** Ein Lehr- und Nachschlagebuch für Elektrotechniker, Elektromonteure, Industrielle u. s. w. gr. 8°. 236 Seit. Mit 261 Abbild. Brosch. ℳ 4.25, geb. ℳ 5.25.

Neureiter, Ingen. **Ferd. Die Verteilung der elektrischen Energie** in Beleuchtungsanlagen. gr. 8°. 257 Seit. Mit 94 Figuren. Brosch. ℳ 6.—. In Halbfranzband geb. ℳ 7.50.

Paul's Tabellen der Elektrotechnik. Zum praktischen Gebrauch für Techniker, Werkmeister, Werkstattarbeiter, Maschinisten, Monteure. 2. Aufl., bearbeitet v. Ingenieur Gust. Wilh. Meyer. kl. Quer-Format. XXI u. 52 Seit. Geb. ℳ 1.40.

Peschel, Ing. **A. Hilfsbuch für die Montage elektrischer Leitungen** zu Beleuchtungszwecken. Für Elektrotechniker, Monteure und Installateure zur raktischen Anlage und Behandlung des Leitungsmaterials. gr. 8°. VI und 234 Seiten. Mit 321 Abbildungen. Brosch. ℳ 5.—, geb. ℳ 6.—.

Praktische Anleitung zur Anlage von Blitzableitern. Mit 26 Abbildungen. Vierte Auflage. 8°. 44 Seiten. Geh. ℳ —.60.

Prasch, Adolf u. **Hugo Wietz. Die elektrotechnischen Masse.** Lehrbuch zum Selbststudium. Dargestellt und durch zahlreiche Beispiele und 38 in den Text gedruckte Figuren erläutert. gr. 8°. 153 Seiten. Brosch. ℳ 3.—, geb. ℳ 3,50.

Rosemeyer, Elektrot. **Josef. Dauerbrand - Bogenlampen.** Eine leichtfassliche Betrachtung über Bogenlampen im allgemeinen und Dauerbrandlampen im besonderen, sowie deren Verhältnisse zueinander. 8° 78 Seiten mit 41 Abbildungen. ℳ 2.—.

Rühlmann, Prof. Dr. **Richard. Grundzüge der Elektrotechnik.** Eine gemeinfassliche Darstellung der Grundlagen der Starkstrom-Elektrotechnik. gr. 8°. 450 Seiten. Mit 226 Abbild. Brosch. ℳ 12.—, geb. ℳ 13.—

Rühlmann, Prof. Dr. **Richard. Grundzüge der Wechselstrom-Technik.** Eine gemeinfassliche Darstellung der Grundlagen der Elektrotechnik der Wechsel- und Mehrphasenströme. Zugleich Ergänzungsband zu: Grundzüge der Elektrotechnik der Starkströme. gr. 8°. 359 Seiten. Mit 261 Abbild. u. 1 Taf. Brosch. ℳ 11.50, geb. ℳ 13.—

Sack, J., Telegr.-Direktor. **Elektrotechnisches Wörterbuch.** Englisch-Deutsch; Französisch-Deutsch; Deutsch-Englisch-Französisch. Mit Zusätzen versehen von Ing. Arthur Wilke. gr. 8°. 123 Seiten. Brosch. ℳ 4.50, geb. ℳ 5.—

Schiemann, Ingen. **Max. Bau und Betrieb elektrischer Bahnen.** Handbuch zu deren Projektierung, Bau und Betriebsführung. I. Bd.: **Strassenbahnen.** Zweite vermehrte Auflage. gr. 8°. 400 S. Mit 364 Abbildungen, 2 photolithographischen Tafeln und 3 Tafeln Diagramme. Brosch. ℳ 12.—, geb. ℳ 13.50.
II. Bd.: **Haupt-, Neben- und Industriebahnen.** gr. 8°. 293 S. Mit 189 Abbild. u. statist. Tabellen. Brosch. ℳ 18.—, geb. ℳ 19.50.

Schiemann, Ingen. **Max. Elektrische Fernschnellbahnen der Zukunft.** Populäre volkswirtschaftliche Eisenbahnskizze. gr. 8°. 55 Seiten. Mit 6 Holzschn. u. 1 lithograph. Tafel. ℳ 1.50.

Schmidt-Ulm, Ingen. **Georg. Die Wirkungsweise, Berechnung** und Konstruktion der Gleichstrom-Dynamomaschinen und Motoren. Praktisches Handbuch für Elektrotechniker, Konstrukteure und Studierende an technischen Mittel- und Hochschulen. 18 Bog. 8°. Mit 204 Abbild., 33 Tafeln. Konstruktionsskizzen und 1 Diagrammtafel. Brosch. ℳ 8.50, geb. ℳ 9.60.

Weil, Julius. Die Entstehung und Entwicklung unserer elektrischen Strassenbahnen. In gemeinfasslicher Darstellung. gr. 8°. 92 Seiten mit 67 Abbildungen. ℳ 3.—

Wietz, Hugo. Die isolierten Leitungsdrähte und Kabel. Ihre Erzeugung, Verlegung und Unterhaltung. gr. 8°. 236 Seiten. Mit 159 Abbildungen. Brosch. ℳ 7.—, geb. ℳ 8.20.

Wilke, Ingen. **Arthur. Über die gegenseitigen Beeinflussungen der** Fernsprechleitungen nach Müller's Theorie. gr. 8°. 69 Seiten. Mit 39 Abbildungen. Brosch. ℳ 1.—.

Wilke, Ingen. **Arthur. Der elektrotechnische Beruf.** Eine kurzgefasste Darstellung des Bildungsganges und der Aussichten des Elektrotechnikers, des Elektrochemikers und der elektrotechnischen Gewerbetreibenden. Zweite vermehrte Auflage. gr. 8°. 133 Seiten. Brosch. 2.25.

Fig. 1.

+B 20,000 — 25 — 50 — 75 — 100 — 125

15,000

10,000

5,000

−K — 0

−B — 5000

Fig. 2.

+B 20,000

15,000

10,000

5,000

0

−B — 5,000

Fig. 3.

+B 20,000

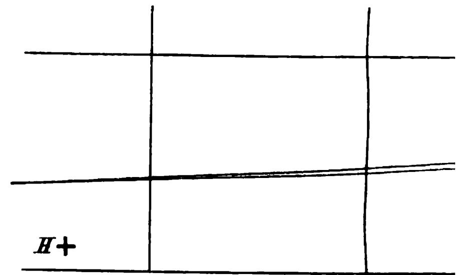
15,000

10,000

5,000

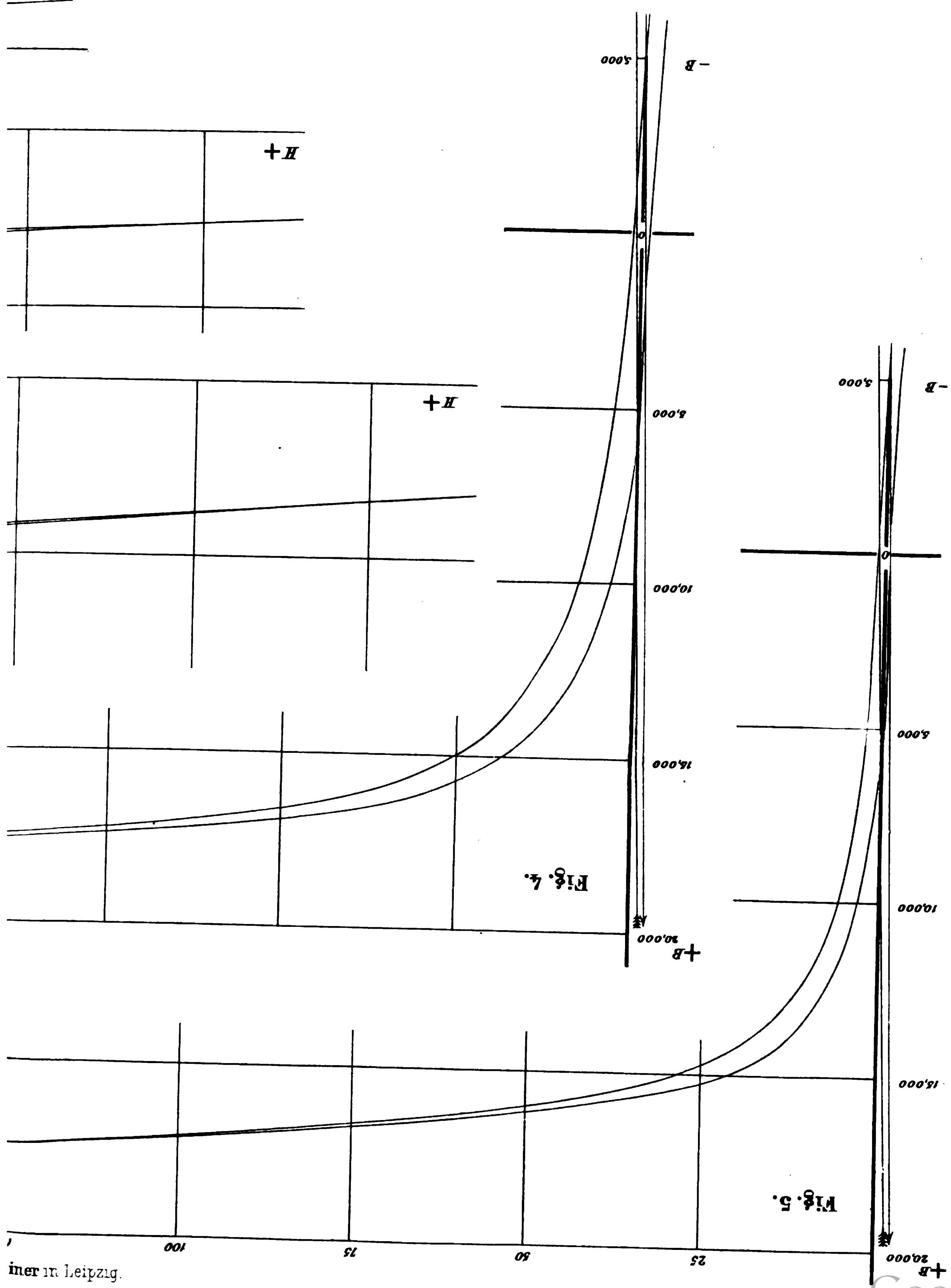
0

−B — 5,000

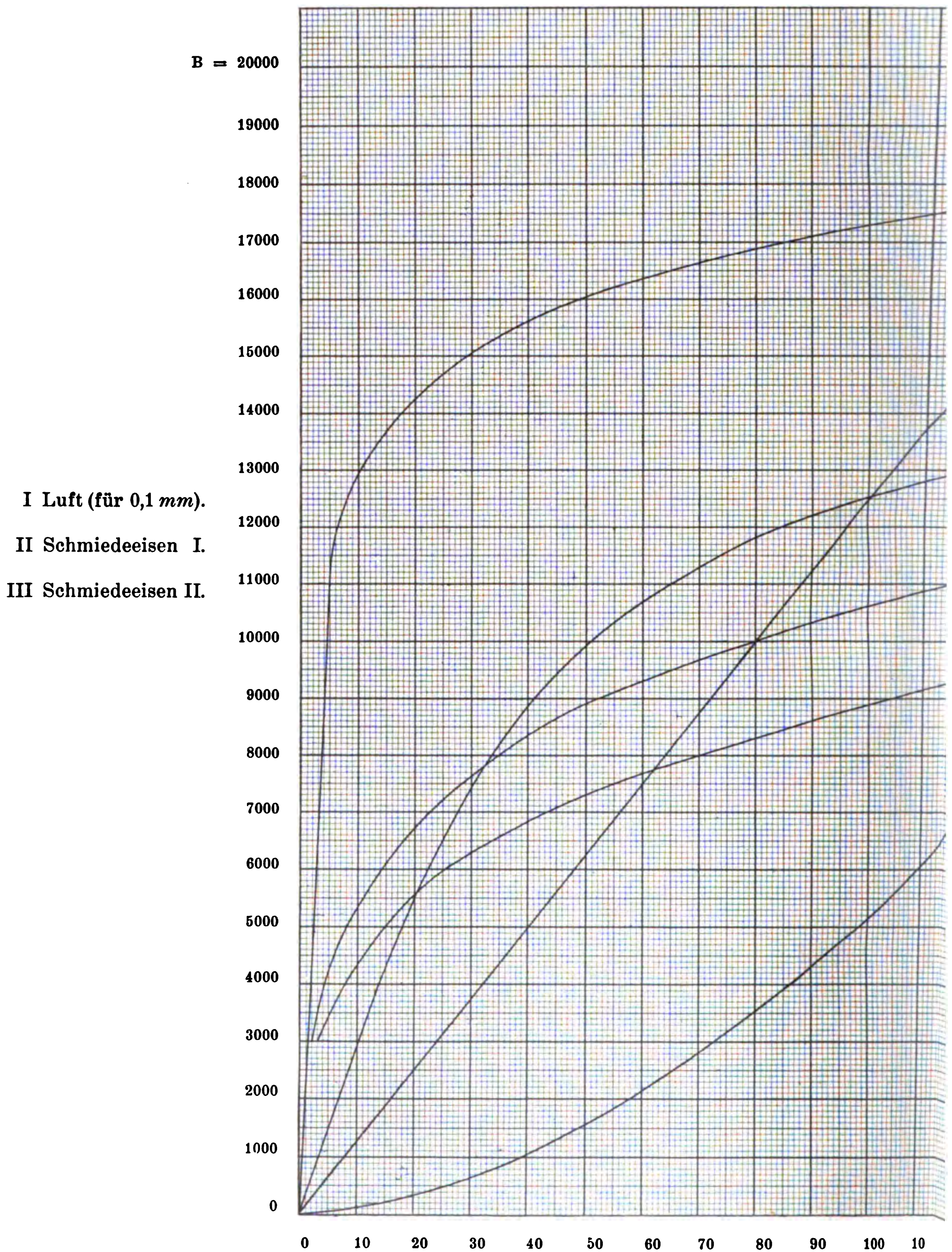


H +

Verlag von Oskar L



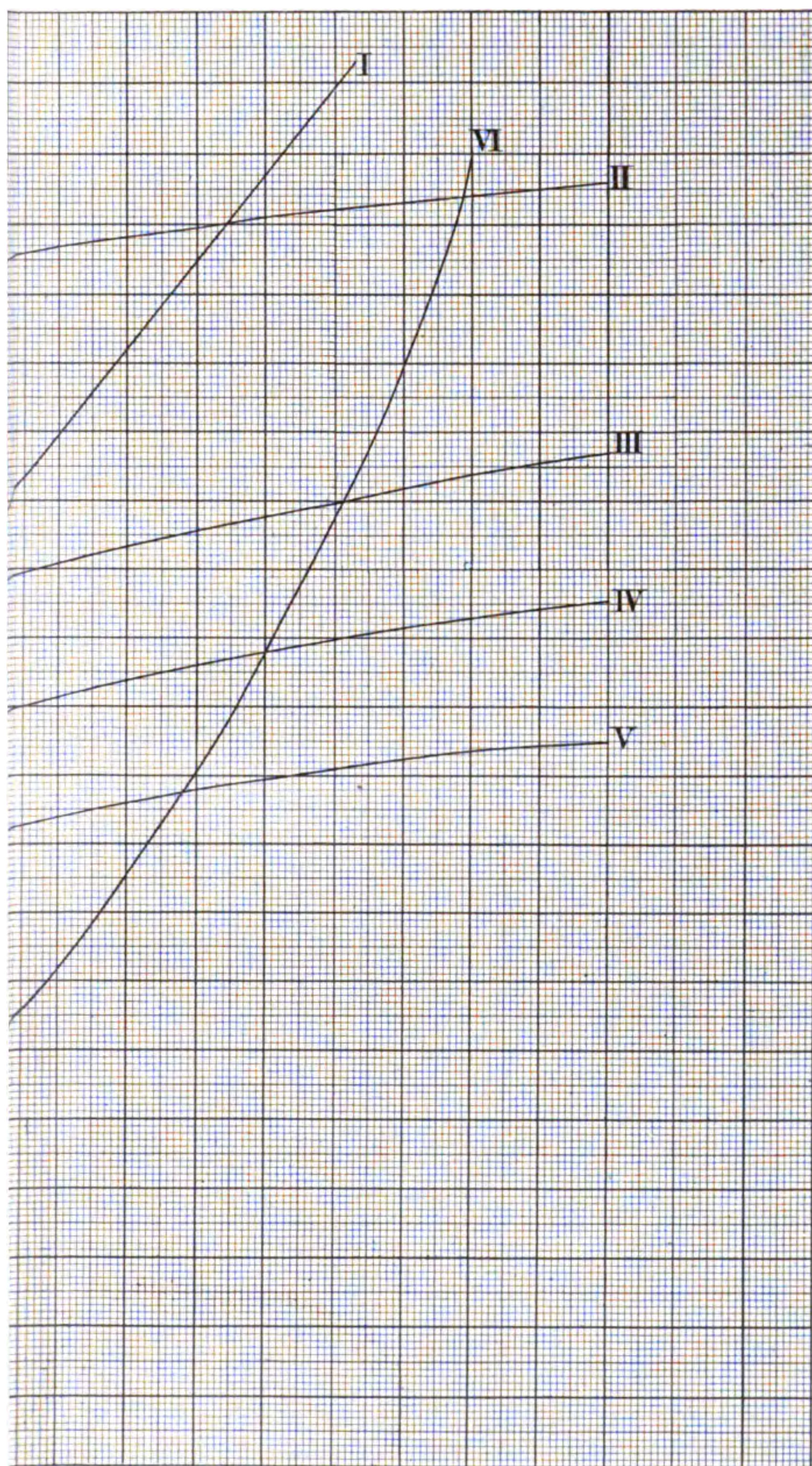
iner in Leipzig.



Verlag von Oska

Tafel 2.

1 12 13 14 15 16 17 18 19 20 Tausend Linien per *qcm*.



20 Watt per 100 *kg*.
19
18
17
16
15
14
13
12
11
10
9
8
7
6
5
4
3
2
1
0

IV Gusseisen I.

V Gusseisen II.

VI Hysteresis von Eisenblechen bei 100 Polwechsel.

20 30 40 50 60 70 80 90 200 A. W. für 1 *cm* Länge des Kraftlinienweges.

ar Leiner, Leipzig.

Fig. 5.

Anker-Eisen Scheibe 1:1.

Fig. 1.

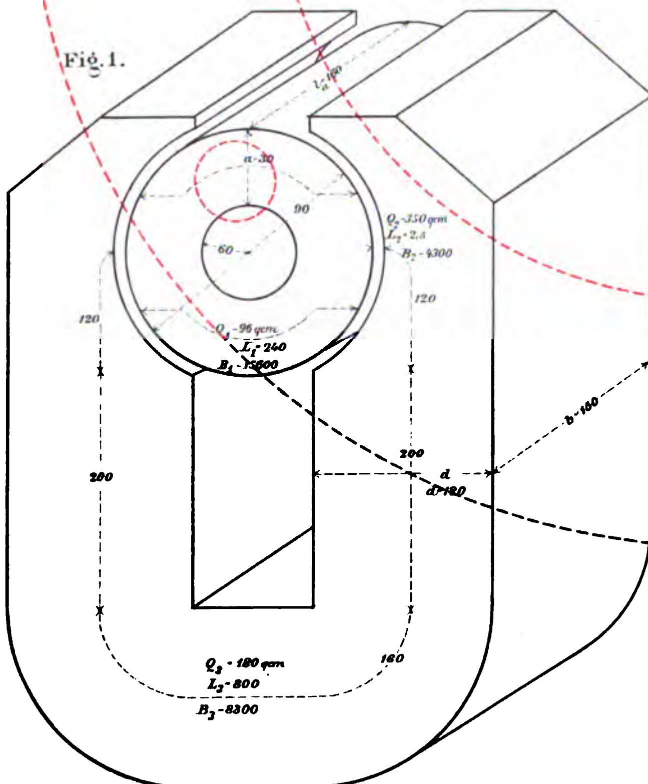


Fig 2.

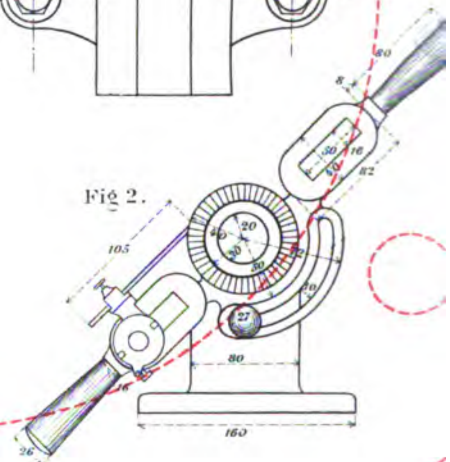
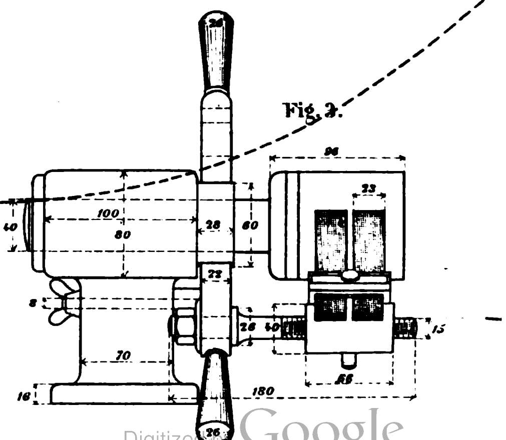


Fig. 3.



Oskar L

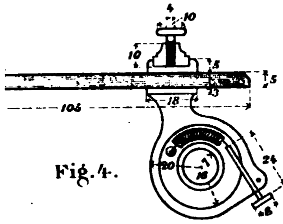


Fig. 4.

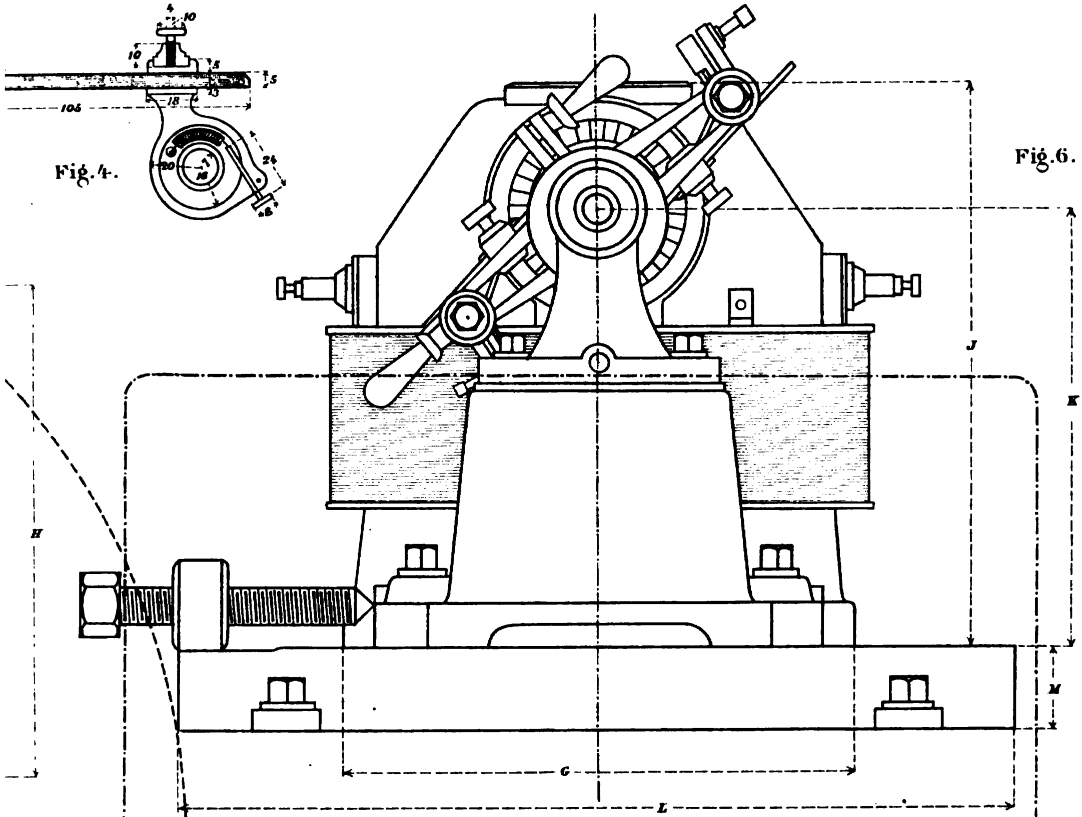
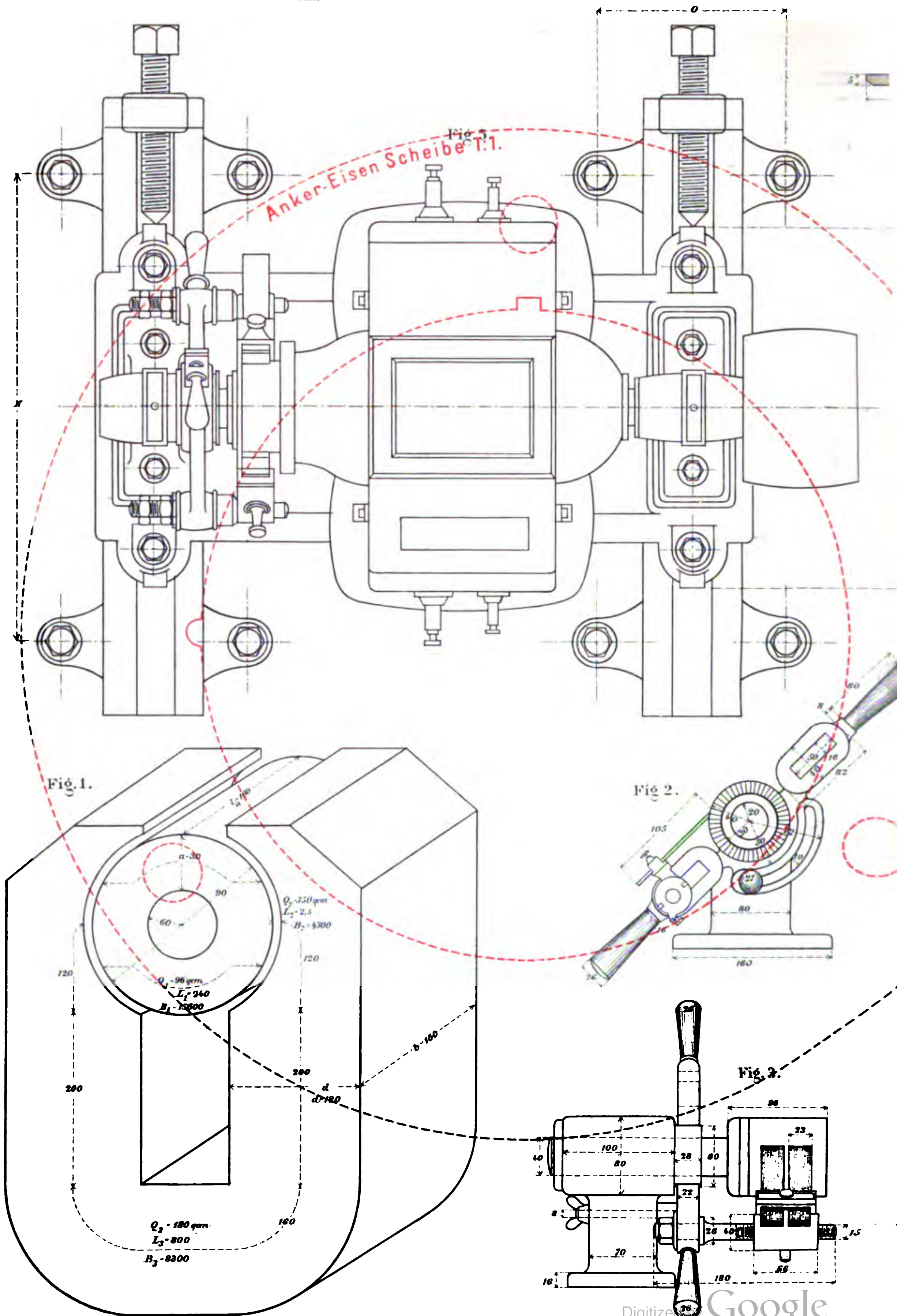


Fig. 6.

Fig. 7.

Schnitt des
Eisenkernes
1:1.
12 x 15 x 180 ccm

einer


Fig. 5.
Anker-Eisen Scheibe 1:1.
Fig. 1.
Fig. 2.
Fig. 3.
a-30
90
60
Q_2-350 qcm
L_2-2,3
B_2-4300
Q_1-96 qcm
L_1-240
B_1-15800
Q_3-180 qcm
L_3-800
B_3-8300
b-150
d-120
120
200
160
105
80
160
100
70
180
96
23

Oskar

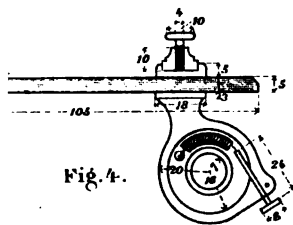


Fig. 4.

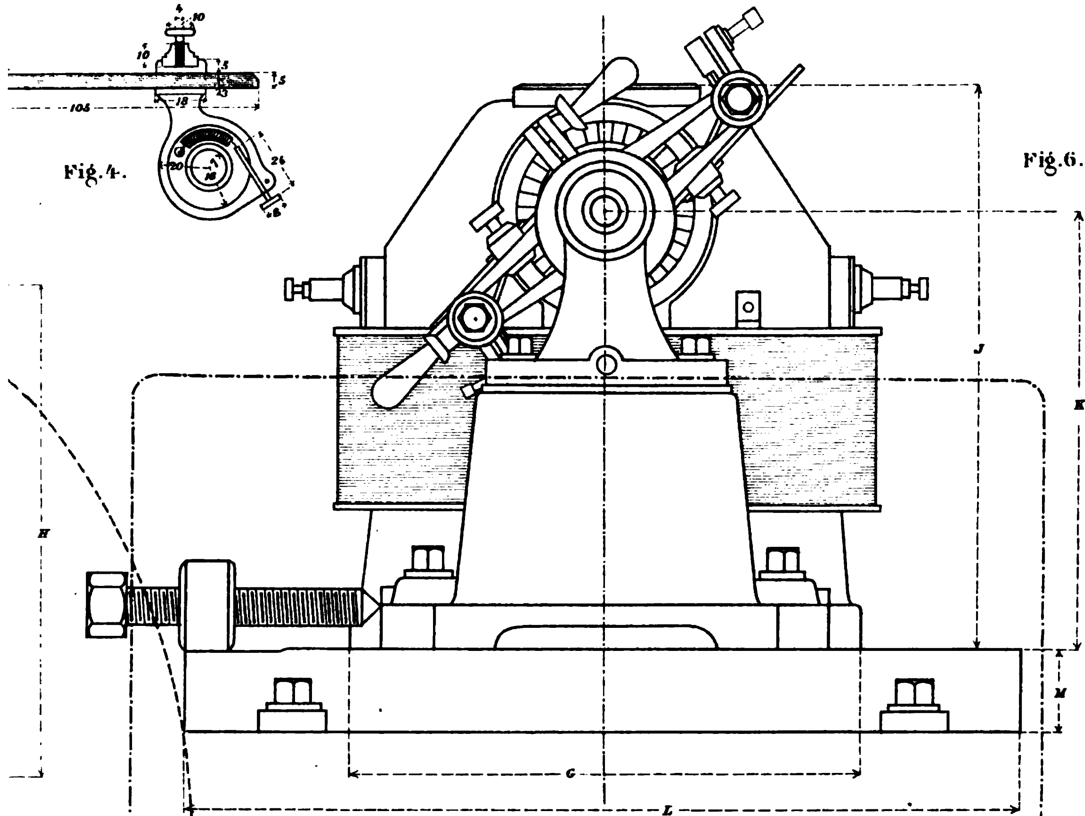
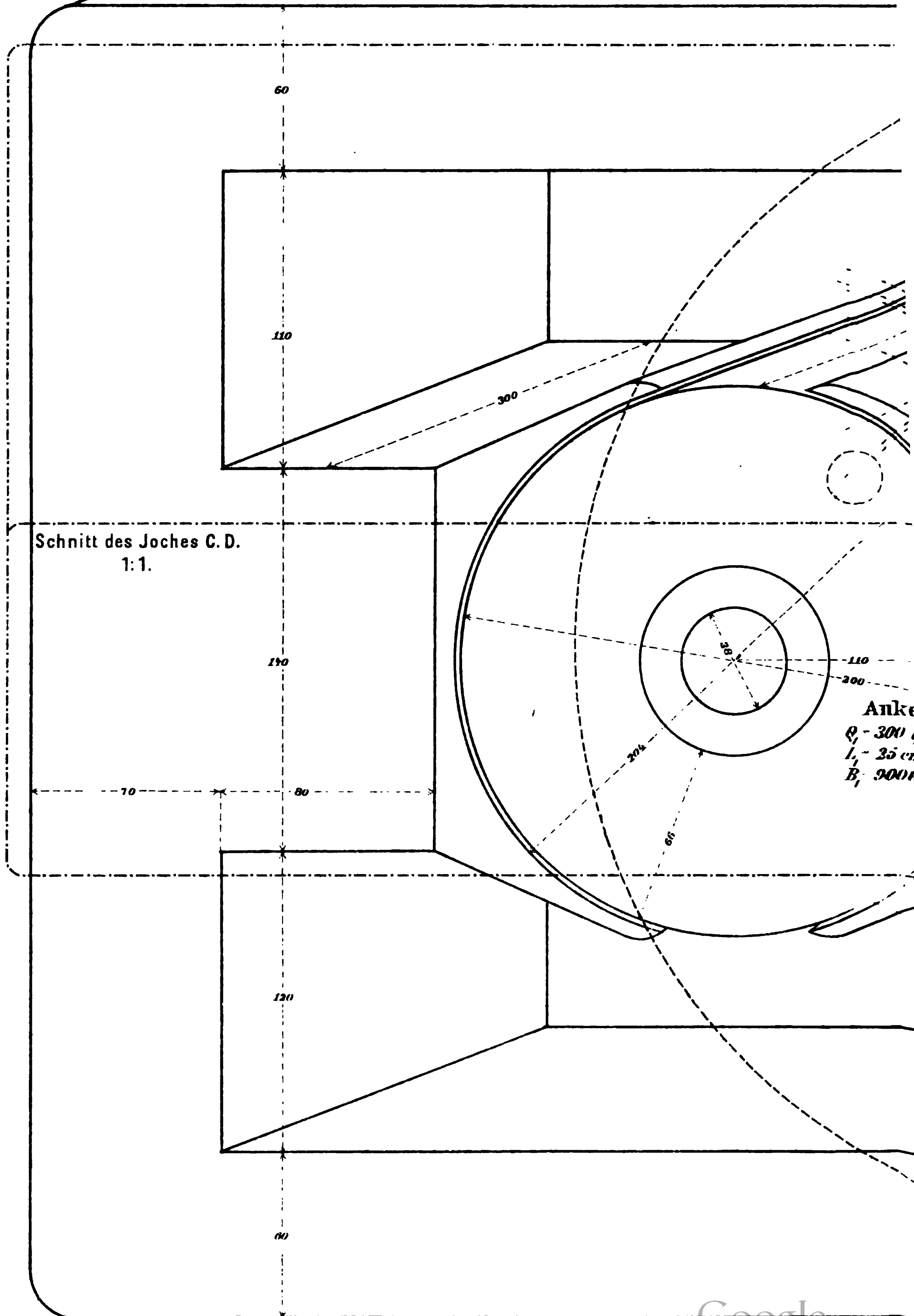


Fig. 6.

Fig. 7.

Schnitt des Eisenkernes
1:1.
12 x 15 = 180 qcm

einer in Leipzig


60
110
300
Schnitt des Joches C. D.
1:1.
140
38
110
200
204
66
70
80
120
60
Anke
Q_1 - 300
L_1 - 35 c
B_1 9000

Schnitt des Eisenkerns A B.
1:1.

300

Luft:
Q_2-540 qcm
L_2-2×2 mm
B_2-5300

A

300

...ker:
...0 qcm
...cm
...00

Elektromagnet:
Q_3-420 qcm
L_3-100 cm
B_3-7200

B

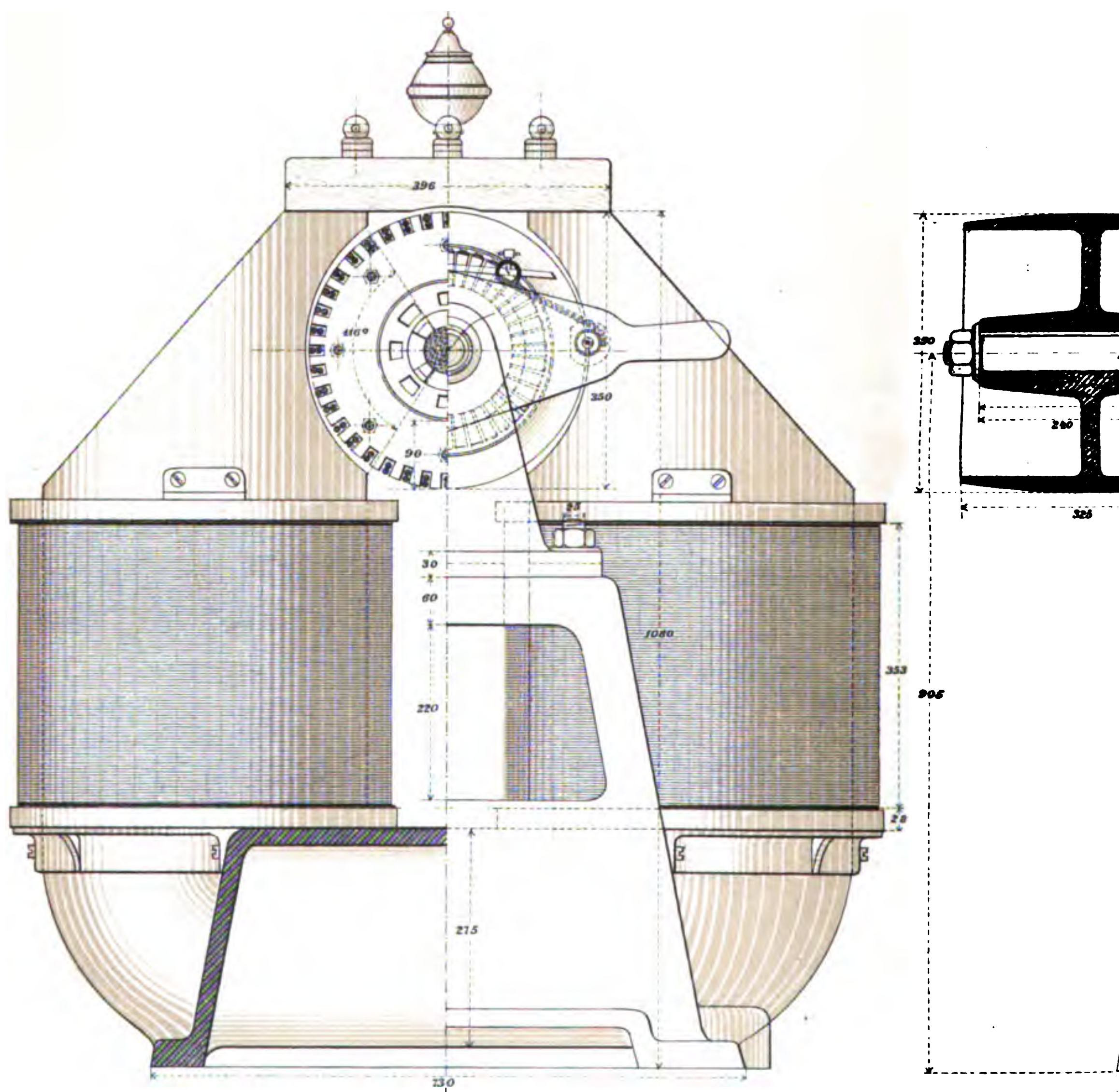
70

1:1.
Anker-Eisenscheibe.

C

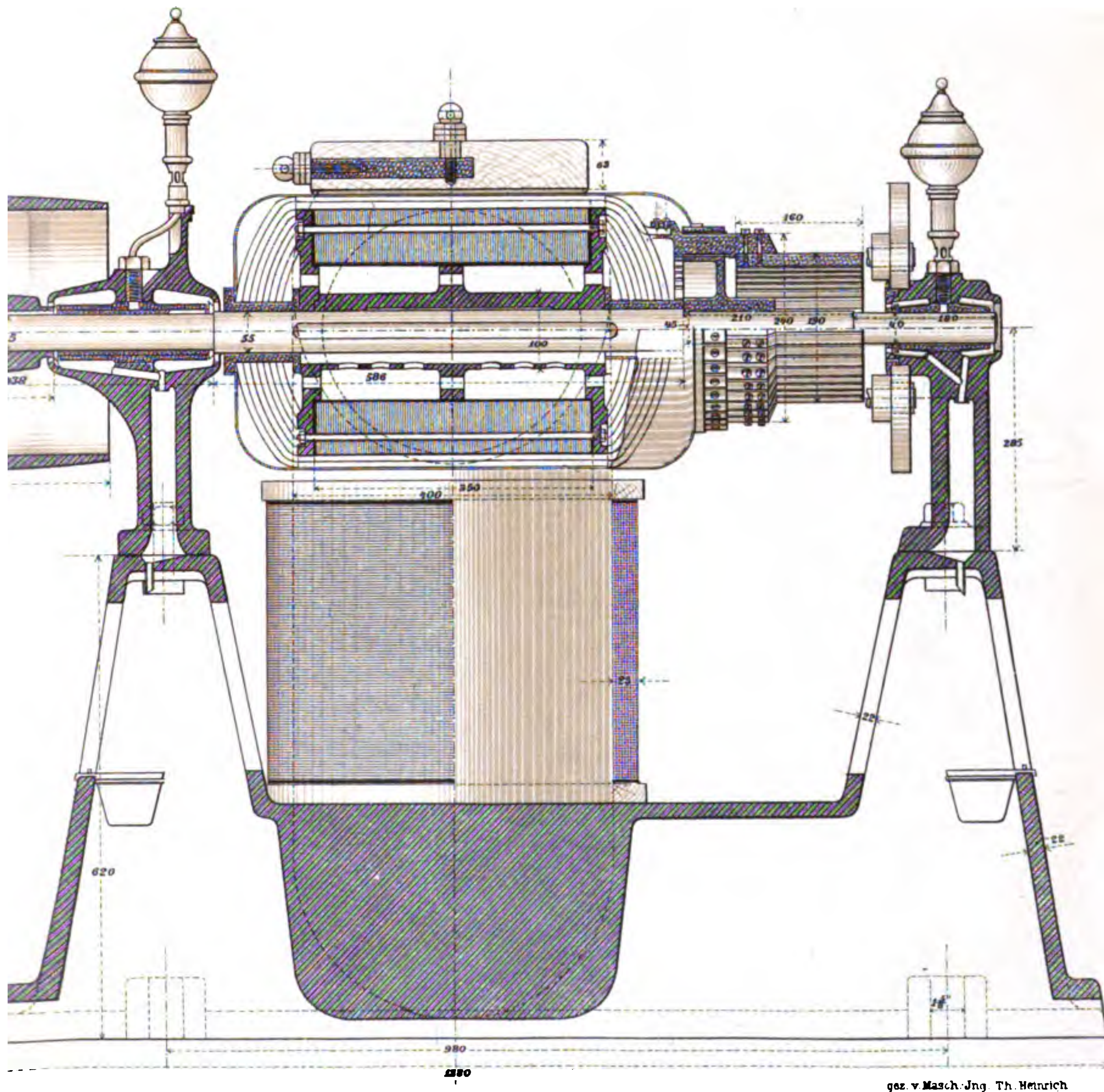
Leiner in Leipzig

D

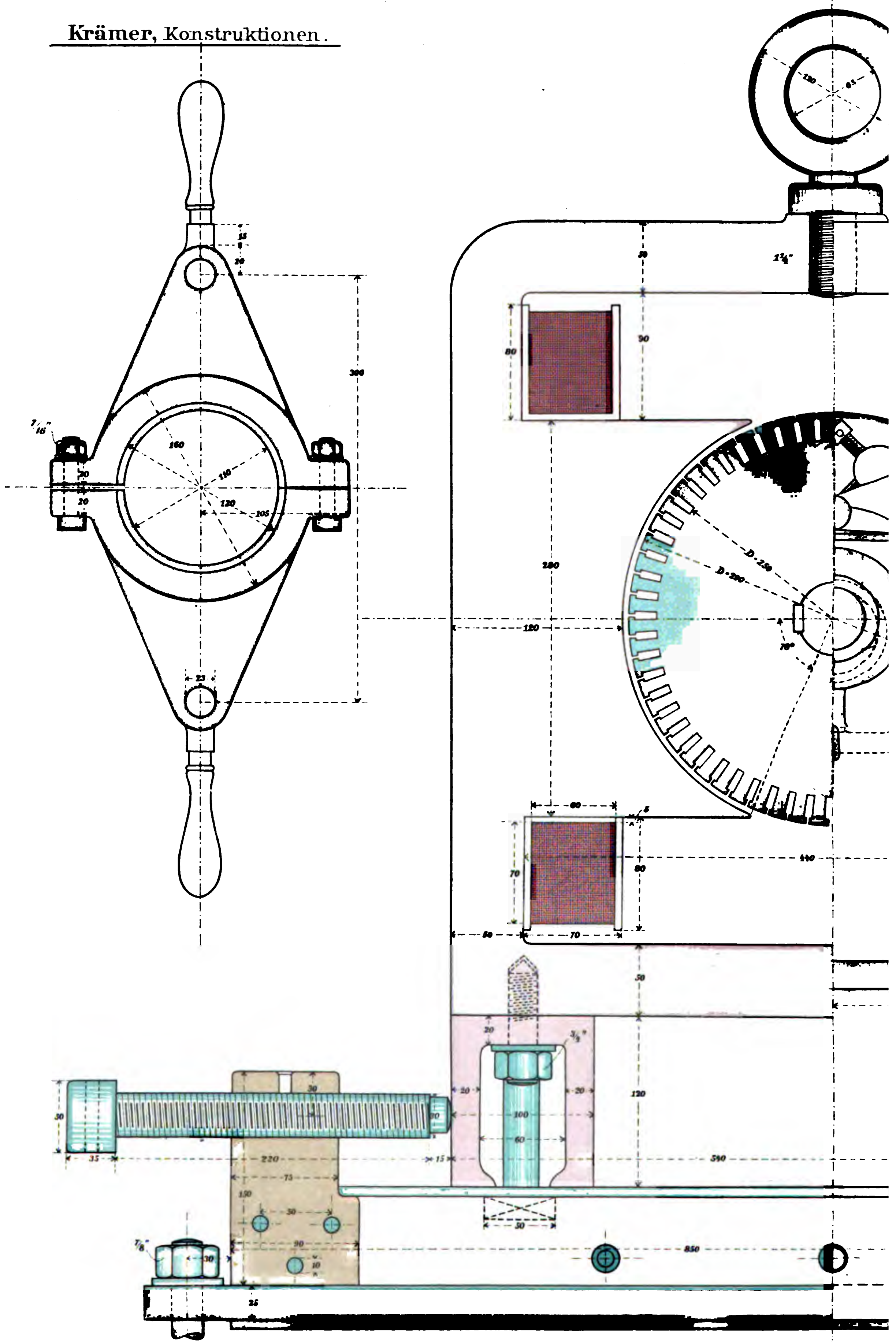


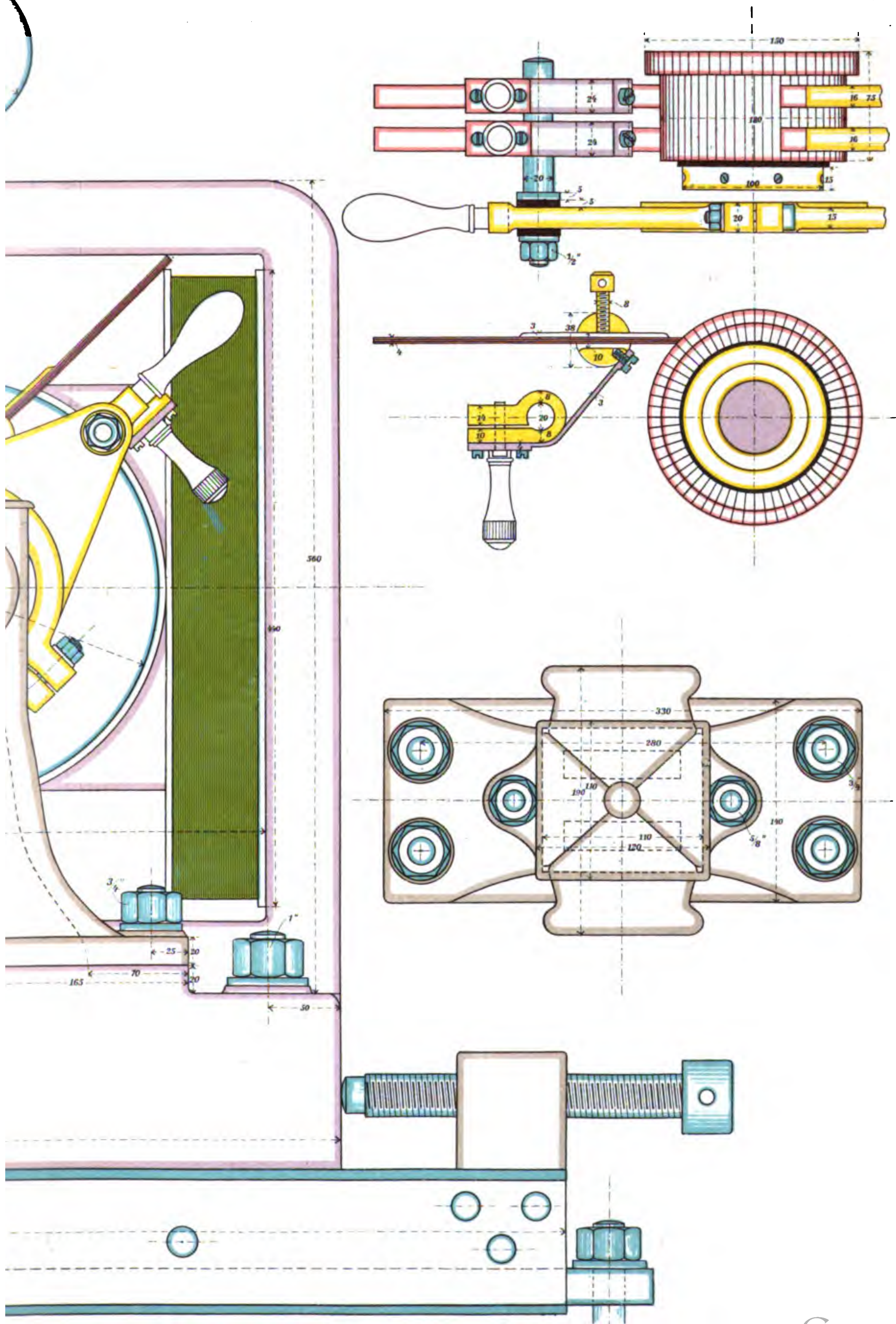
Verlag von Oskar

Taf. 5.

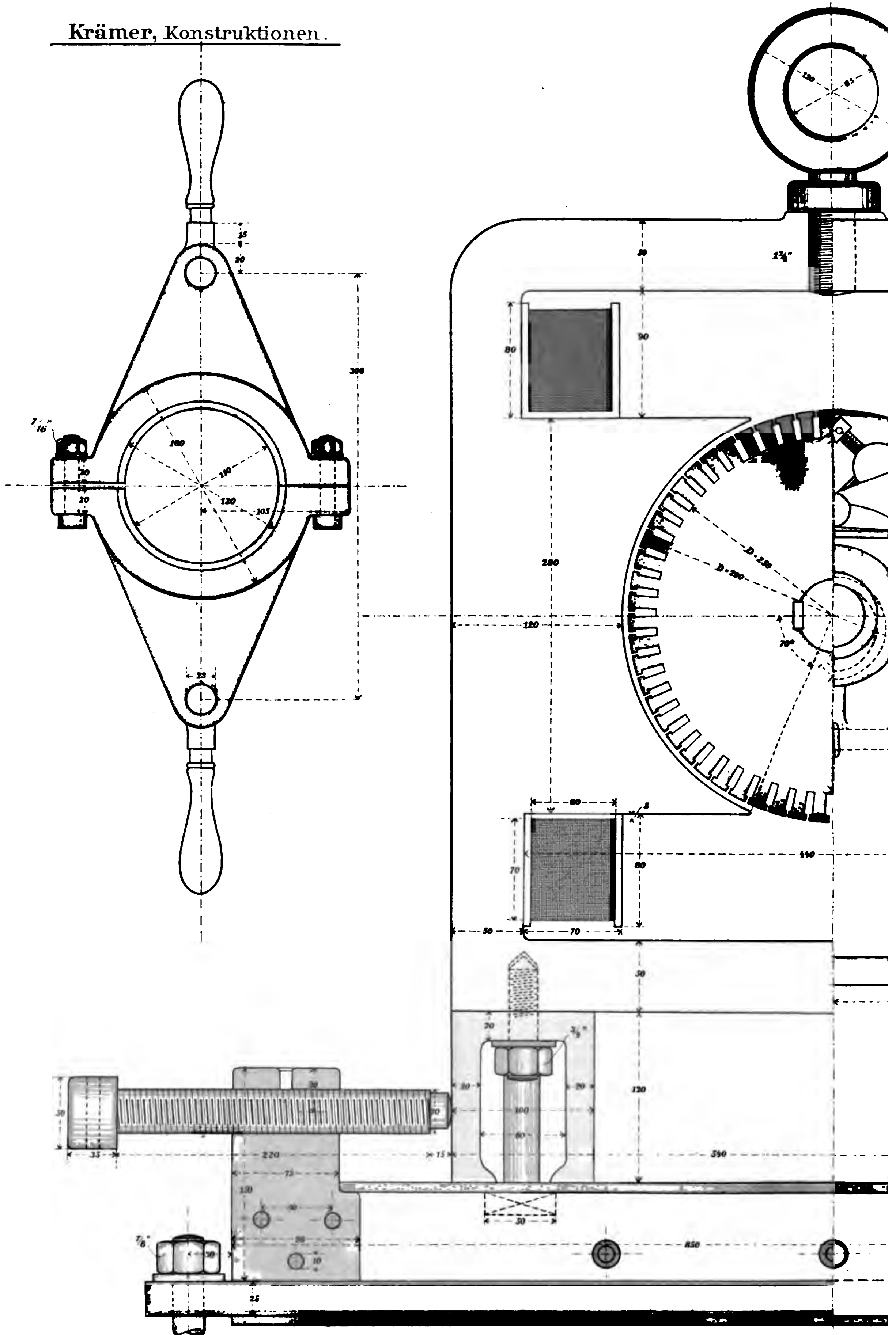


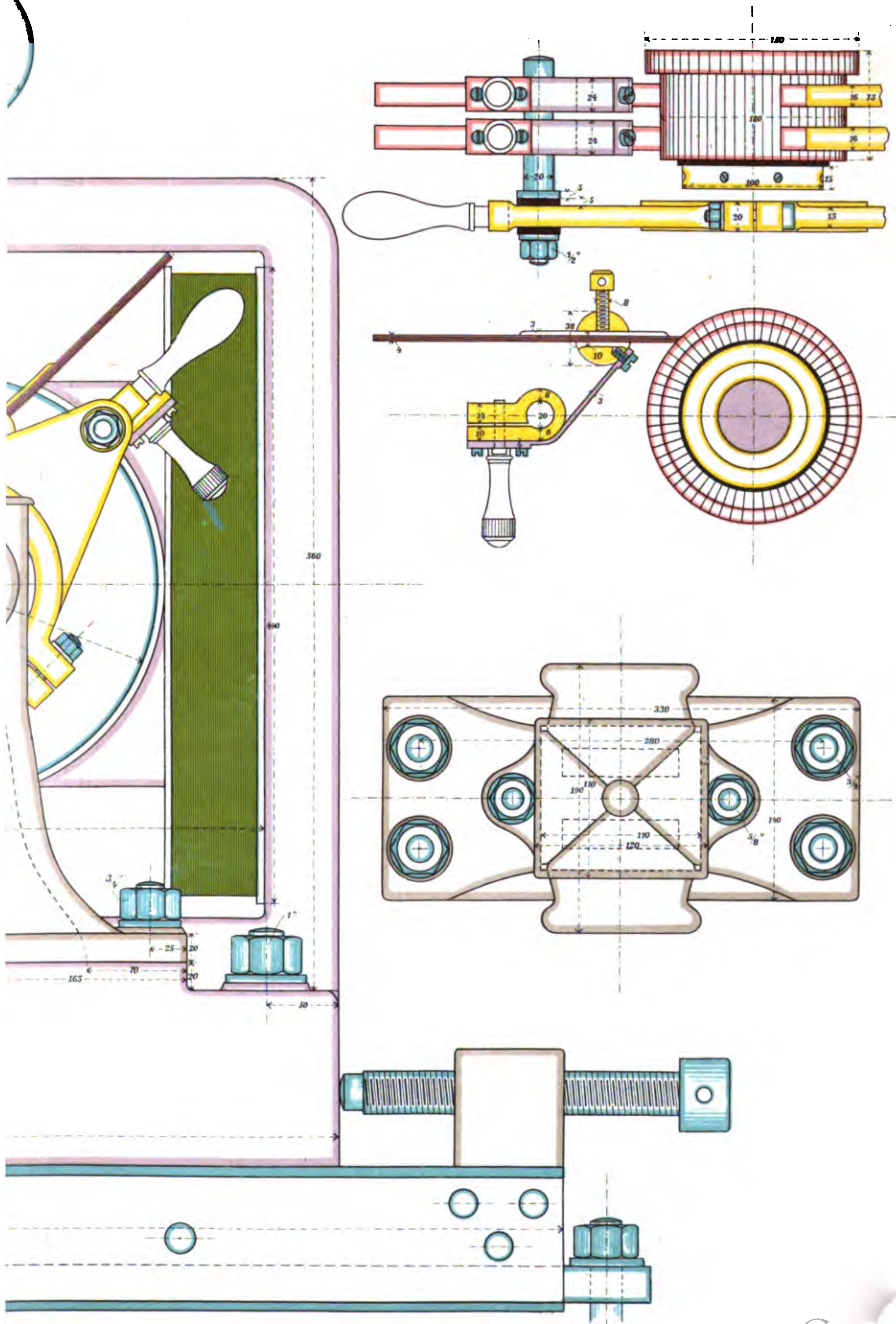
Leiner in Leipzig.


D=250
D=290
280
120
1¼"
7/16"
7/8"
850
540
220

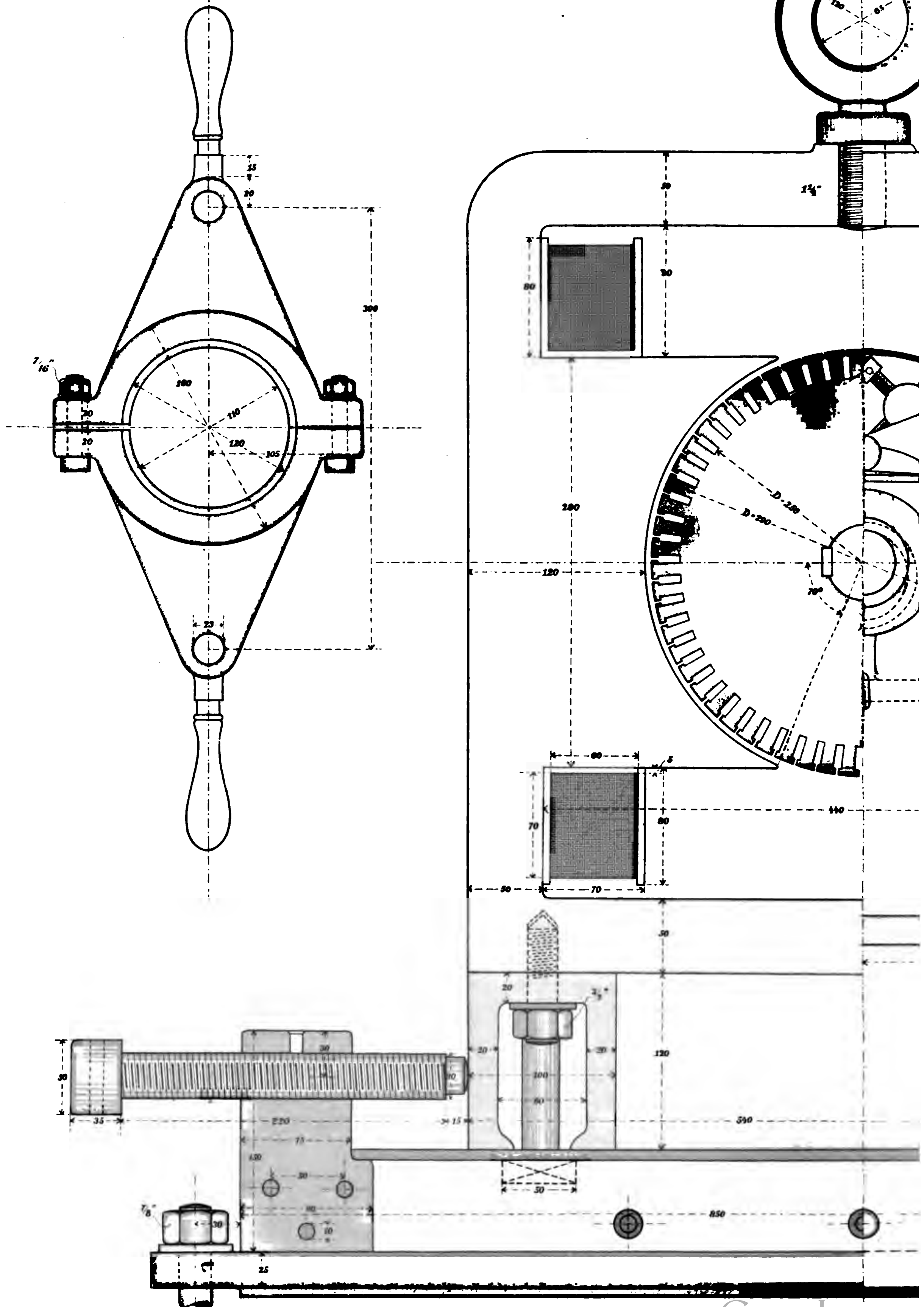


…kar Leiner in Leipzig.

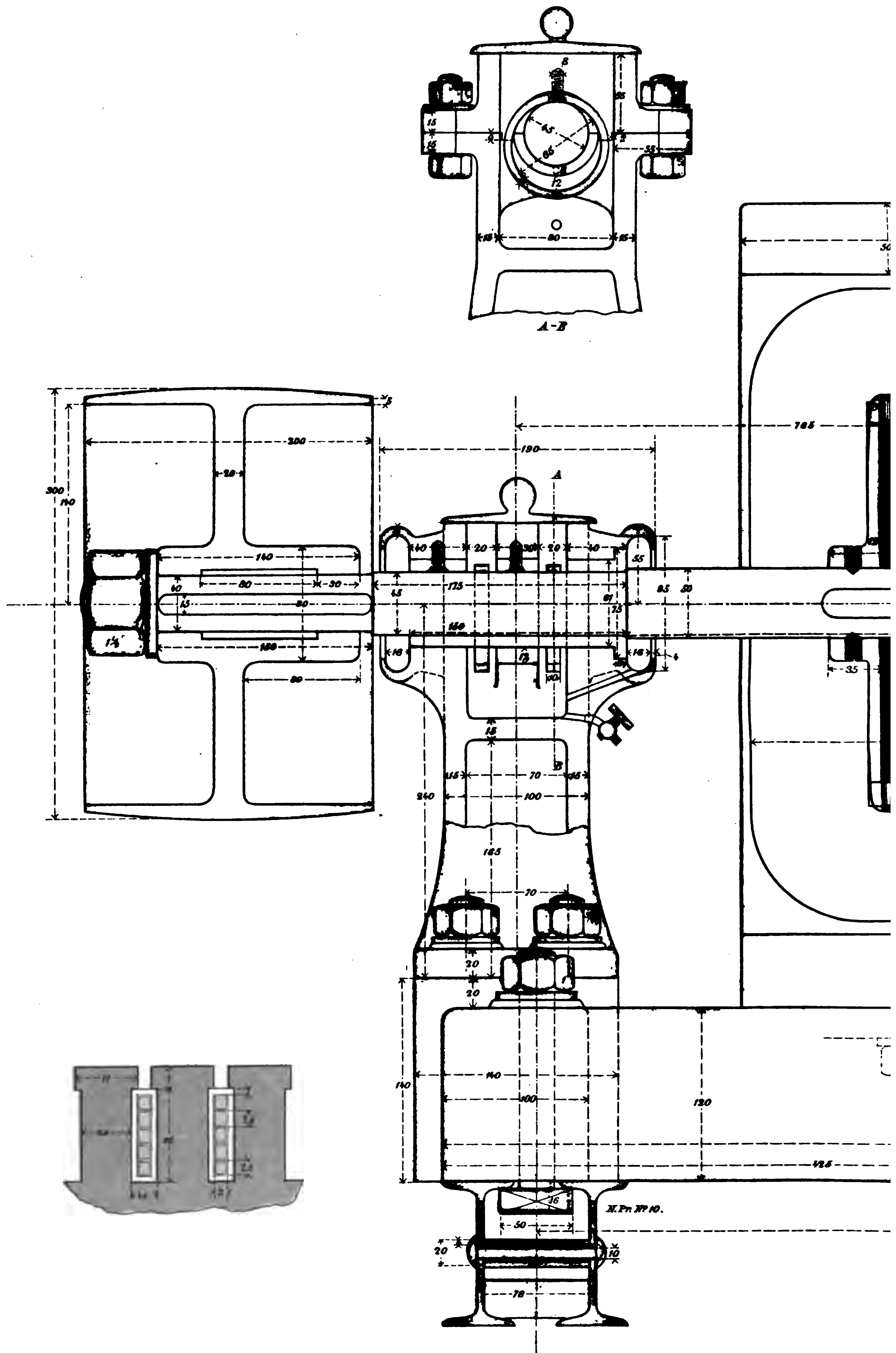




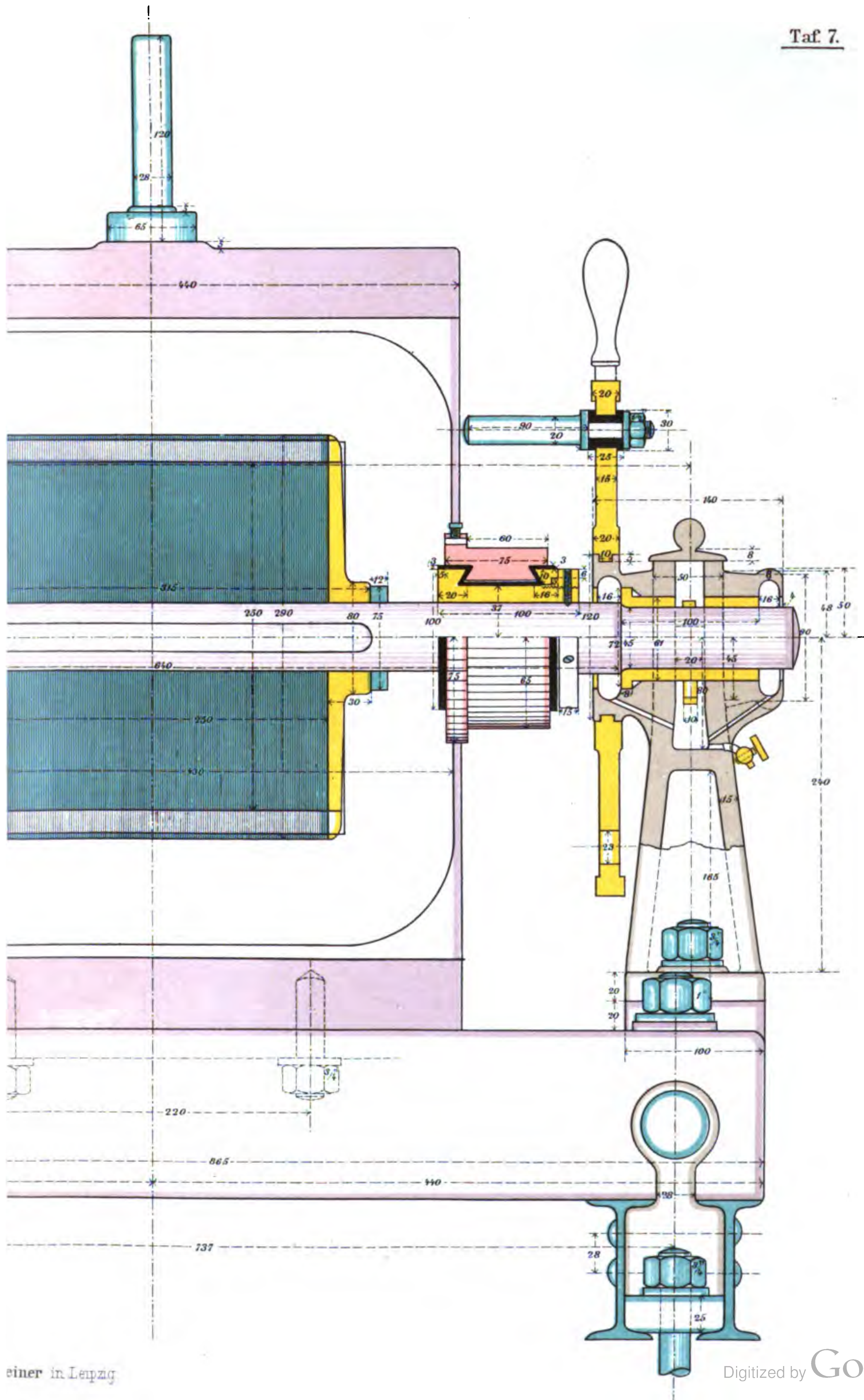
kar Leiner in Leipzig


7/16"
300
160
110
120
105
23
280
120
D = 250
D = 200
70°
440
80
70
50
120
540
850
220
35
30
7/8"
25

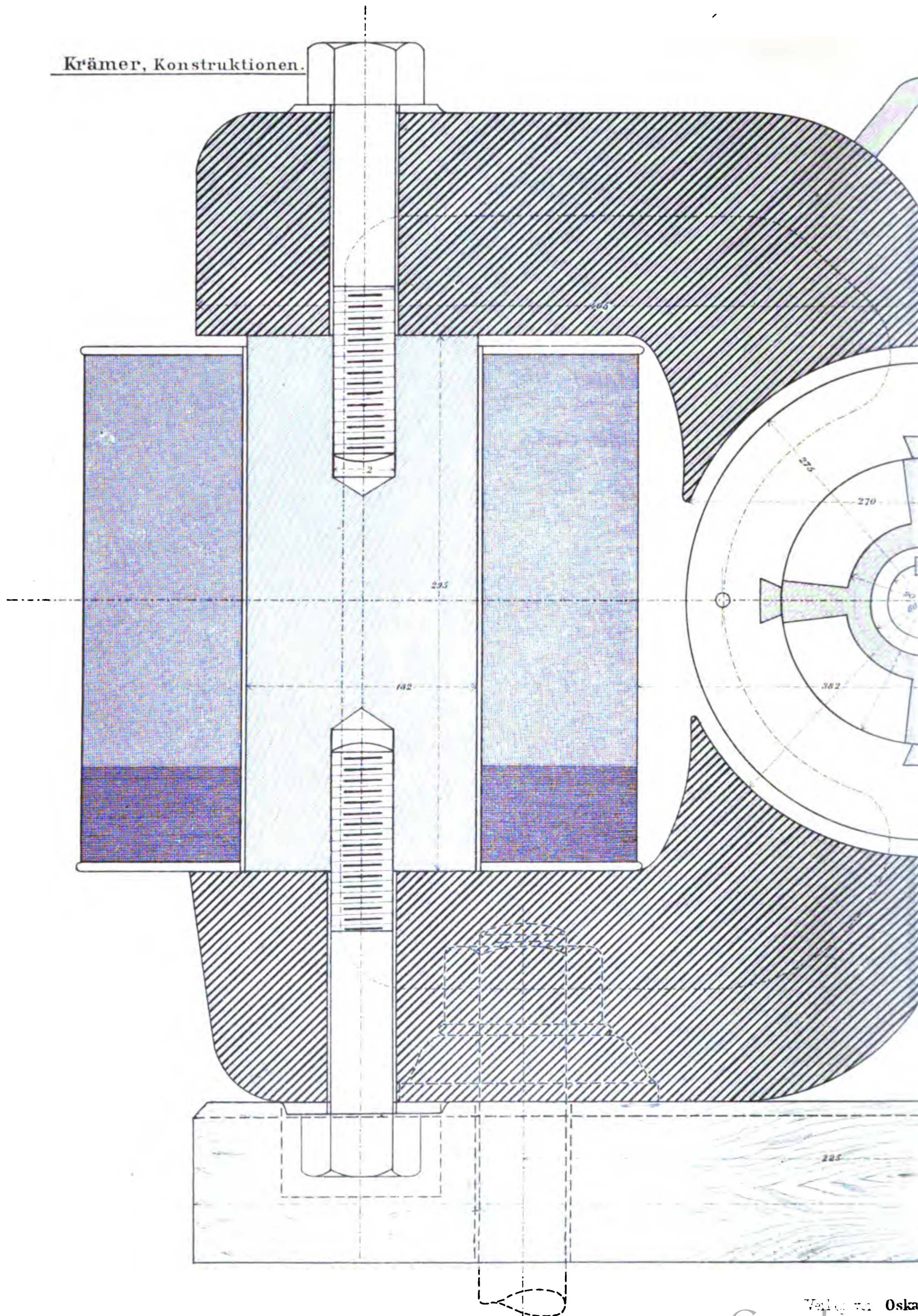
kar Leiner in Leipzig



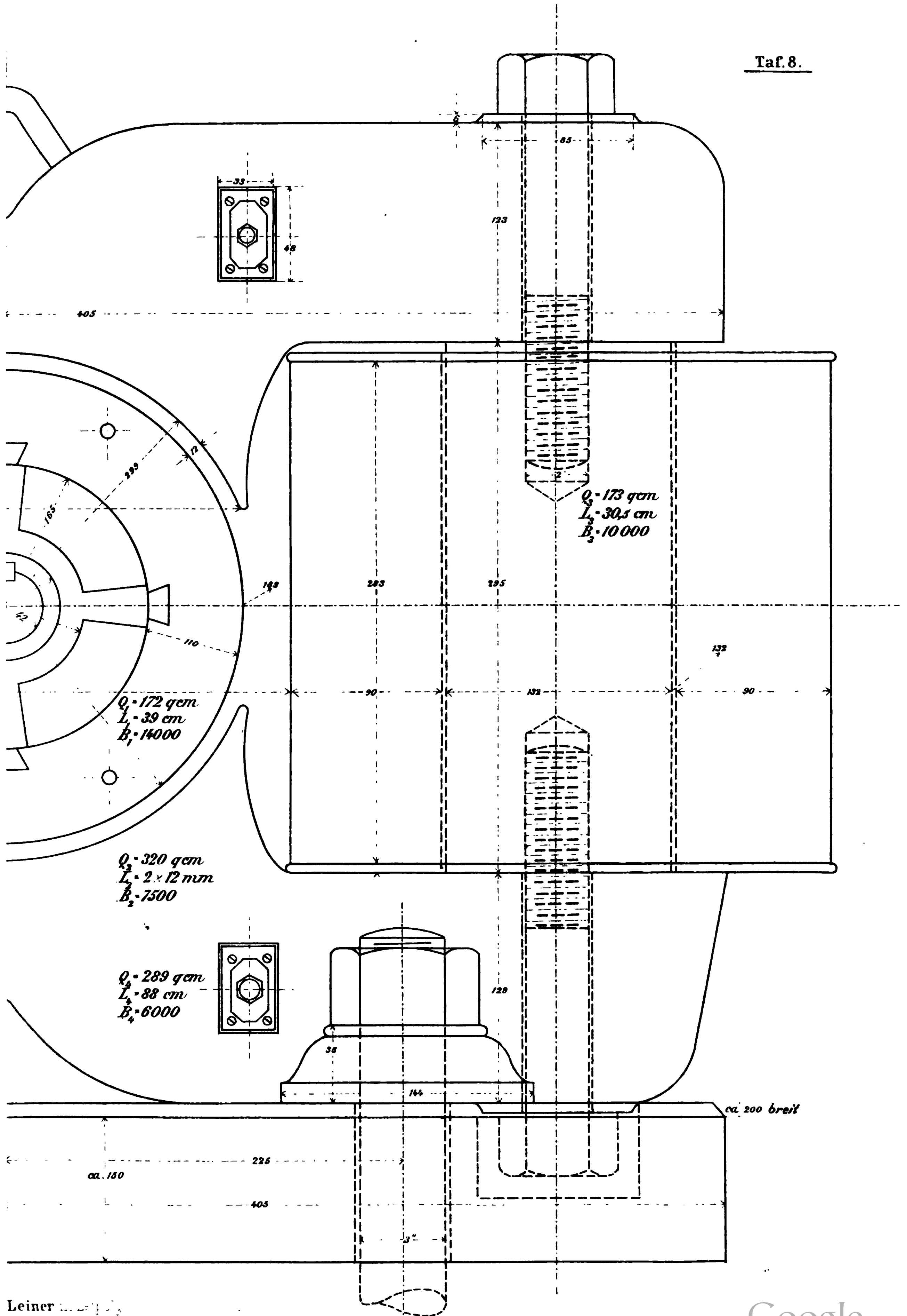
Verlag von Oska



einer in Leipzig

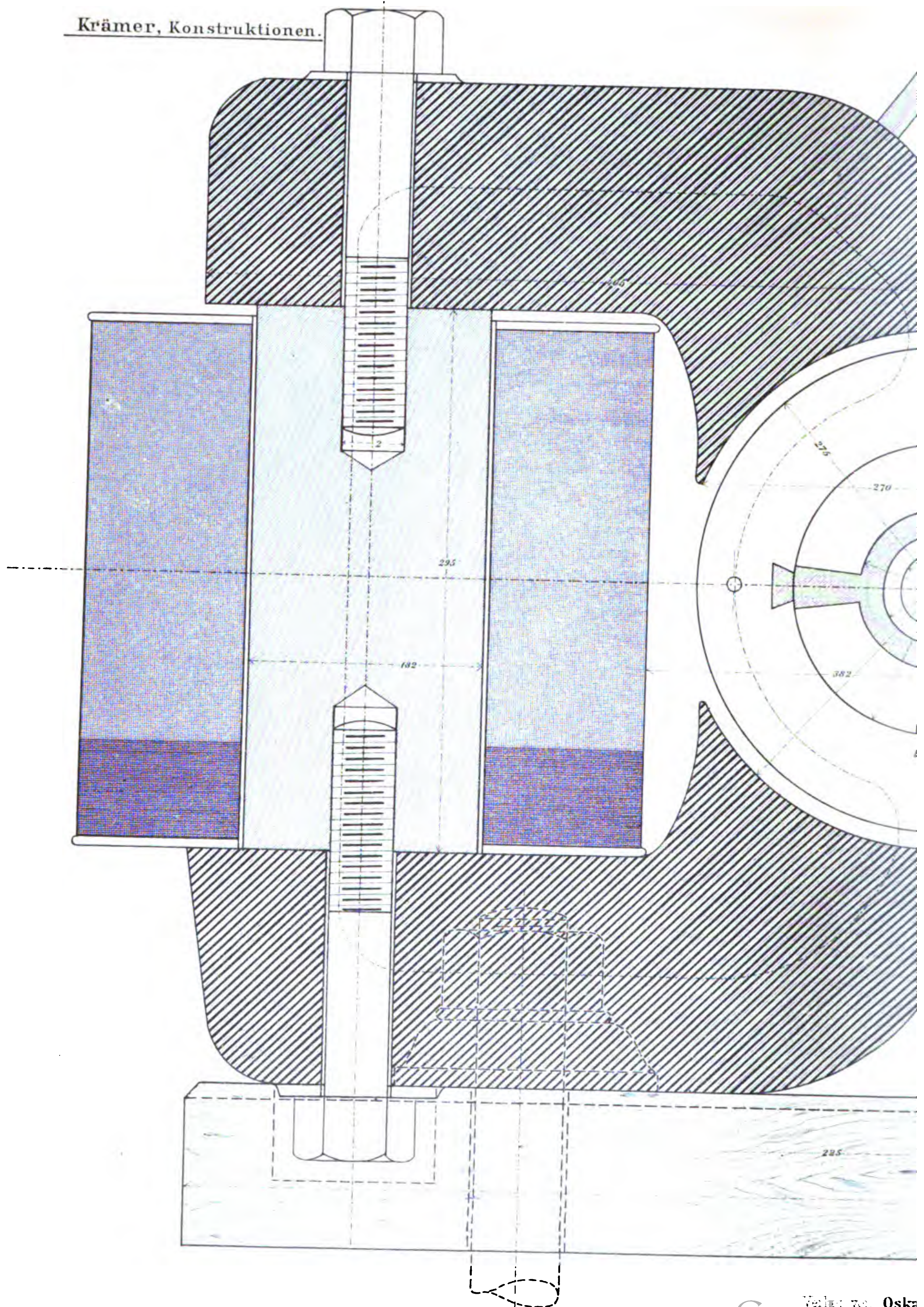


Verlag von Oska

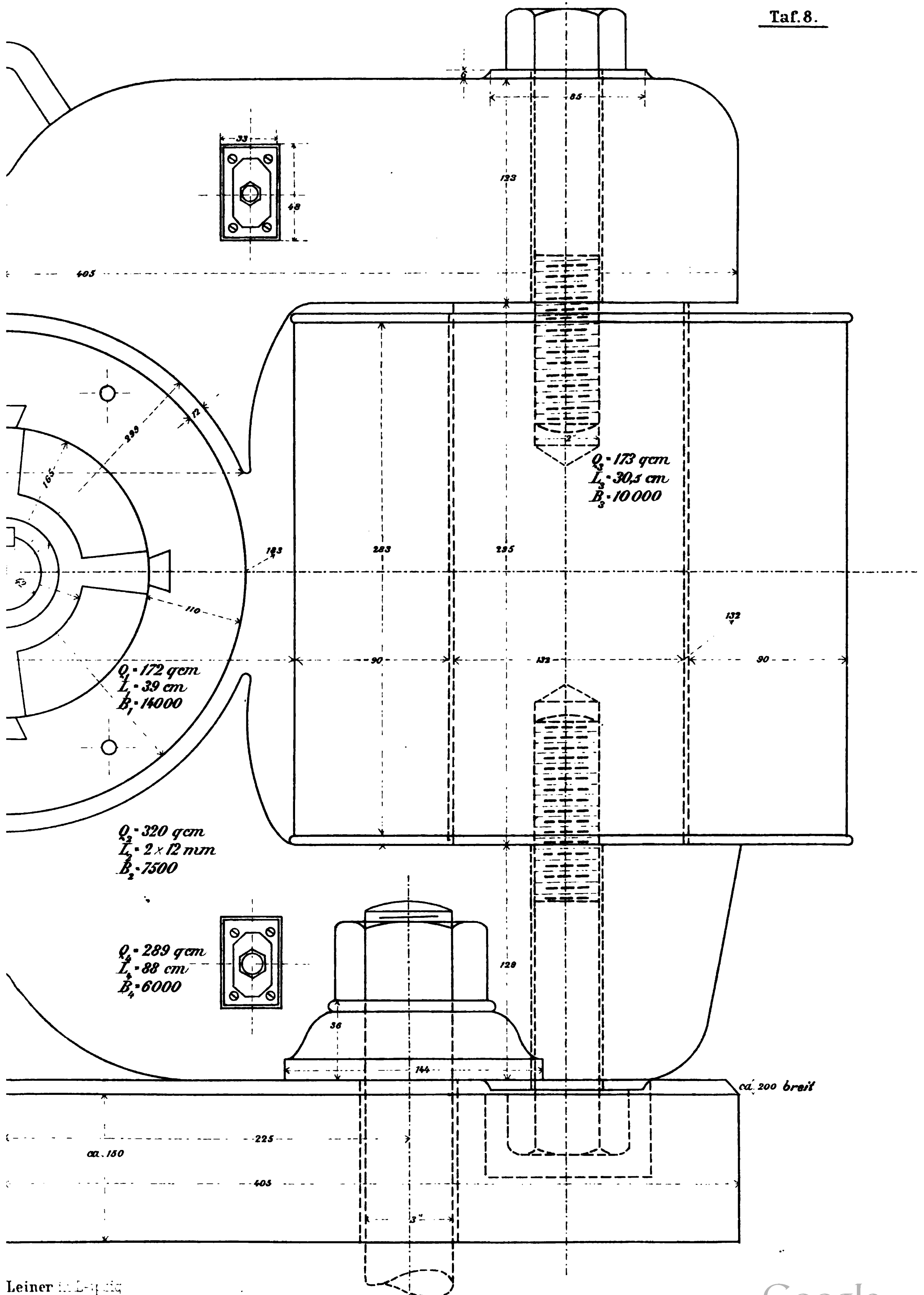


85
6
33
48
123
405
Q_3 = 173 qcm
L_3 = 30,5 cm
B_3 = 10000
299
12
165
143
283
295
110
132
90
132
90
Q_1 = 172 qcm
L_1 = 39 cm
B_1 = 14000
Q_2 = 320 qcm
L_2 = 2 × 12 mm
B_2 = 7500
Q_4 = 289 qcm
L_4 = 88 cm
B_4 = 6000
129
36
144
ca. 200 breit
225
ca. 150
405
3"

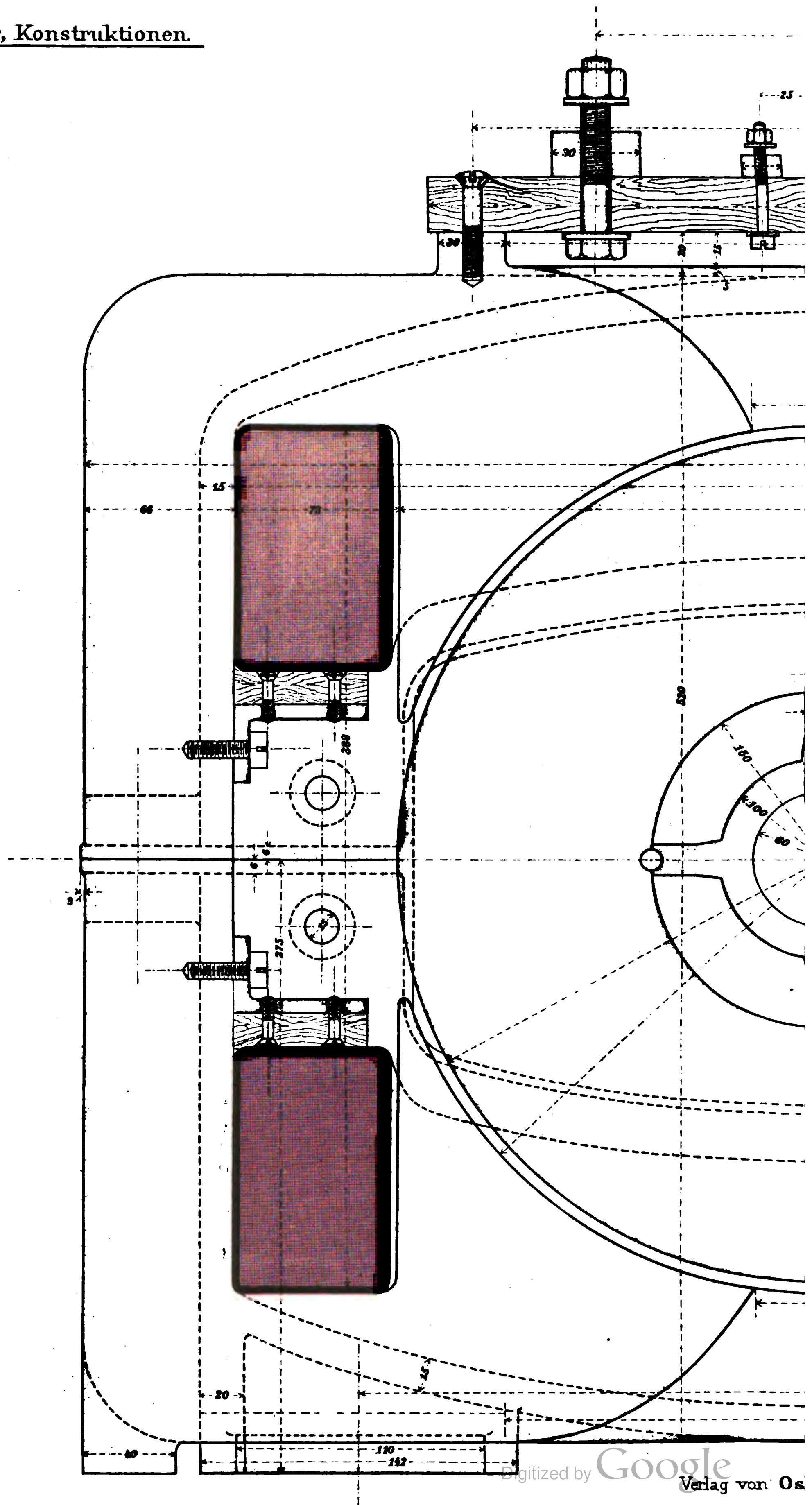
Leiner



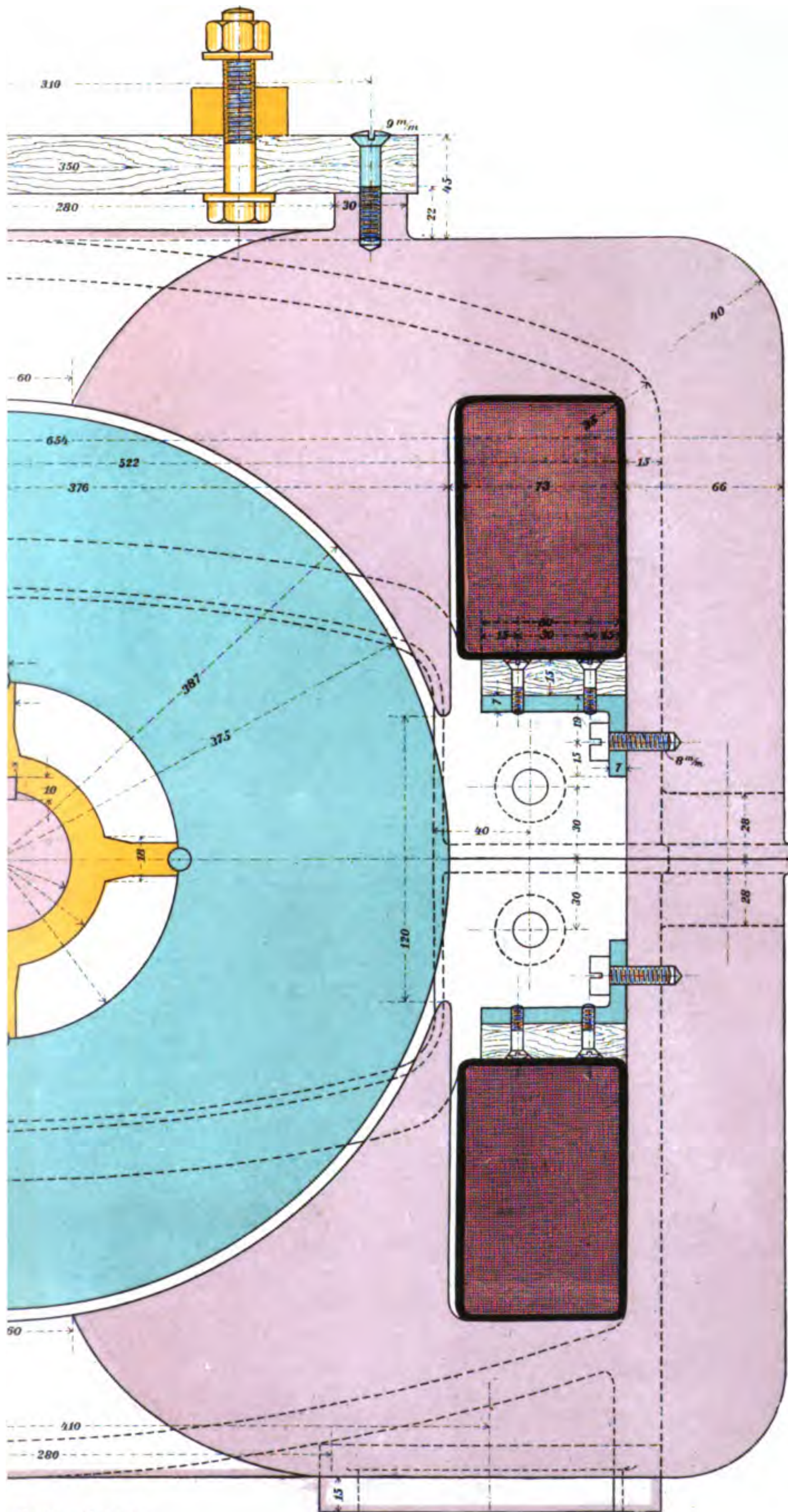
Verlag von Oska



85
133
48
33
405
Q_3 = 173 qcm
L_3 = 30,5 cm
B_3 = 10000
283
295
183
299
165
110
72
132
90
132
90
Q_1 = 172 qcm
L_1 = 39 cm
B_1 = 14000
Q_2 = 320 qcm
L_2 = 2 × 12 mm
B_2 = 7500
Q_4 = 289 qcm
L_4 = 88 cm
B_4 = 6000
128
36
144
ca. 200 breit
225
ca. 150
405
3"

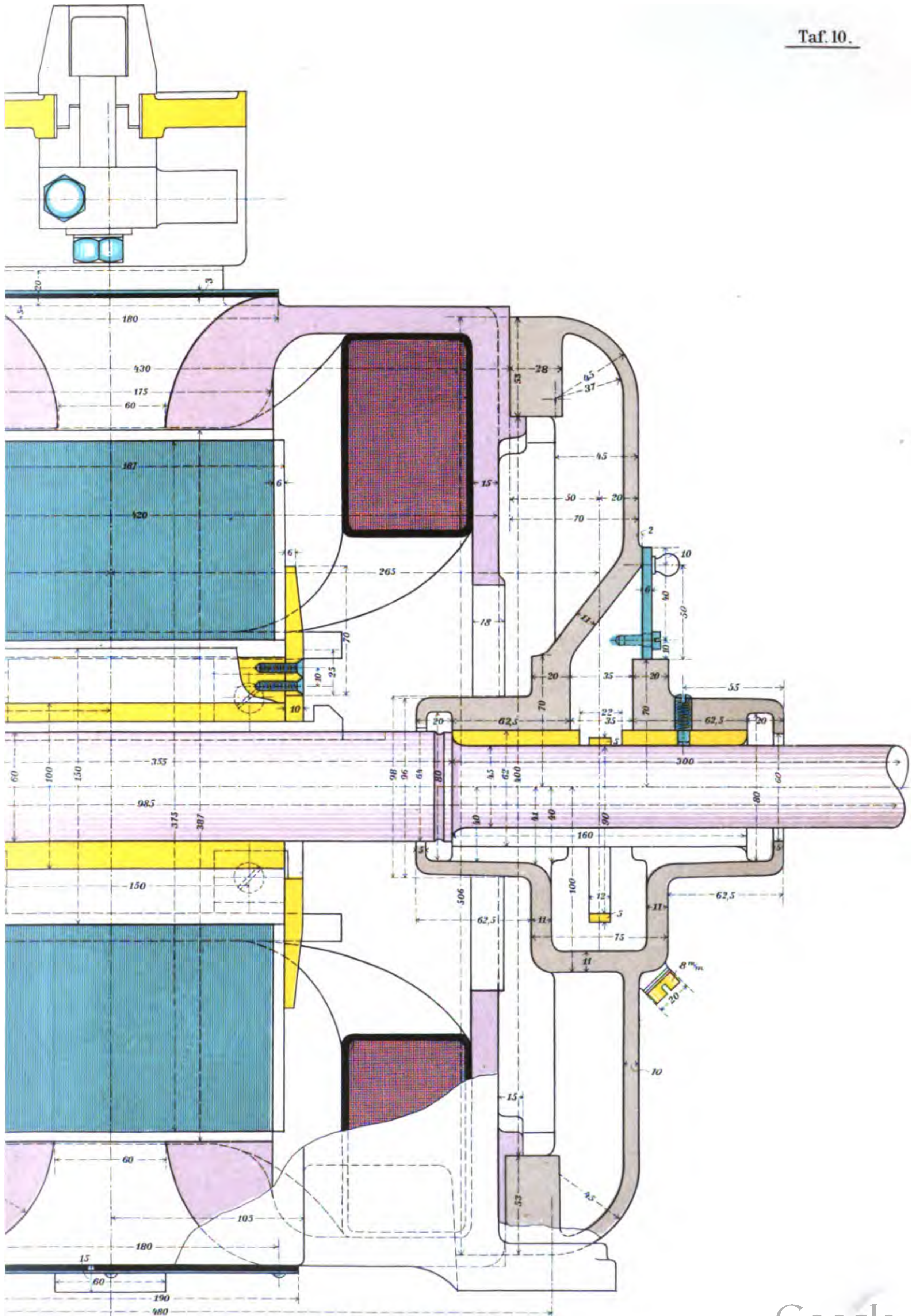


Verlag von Os

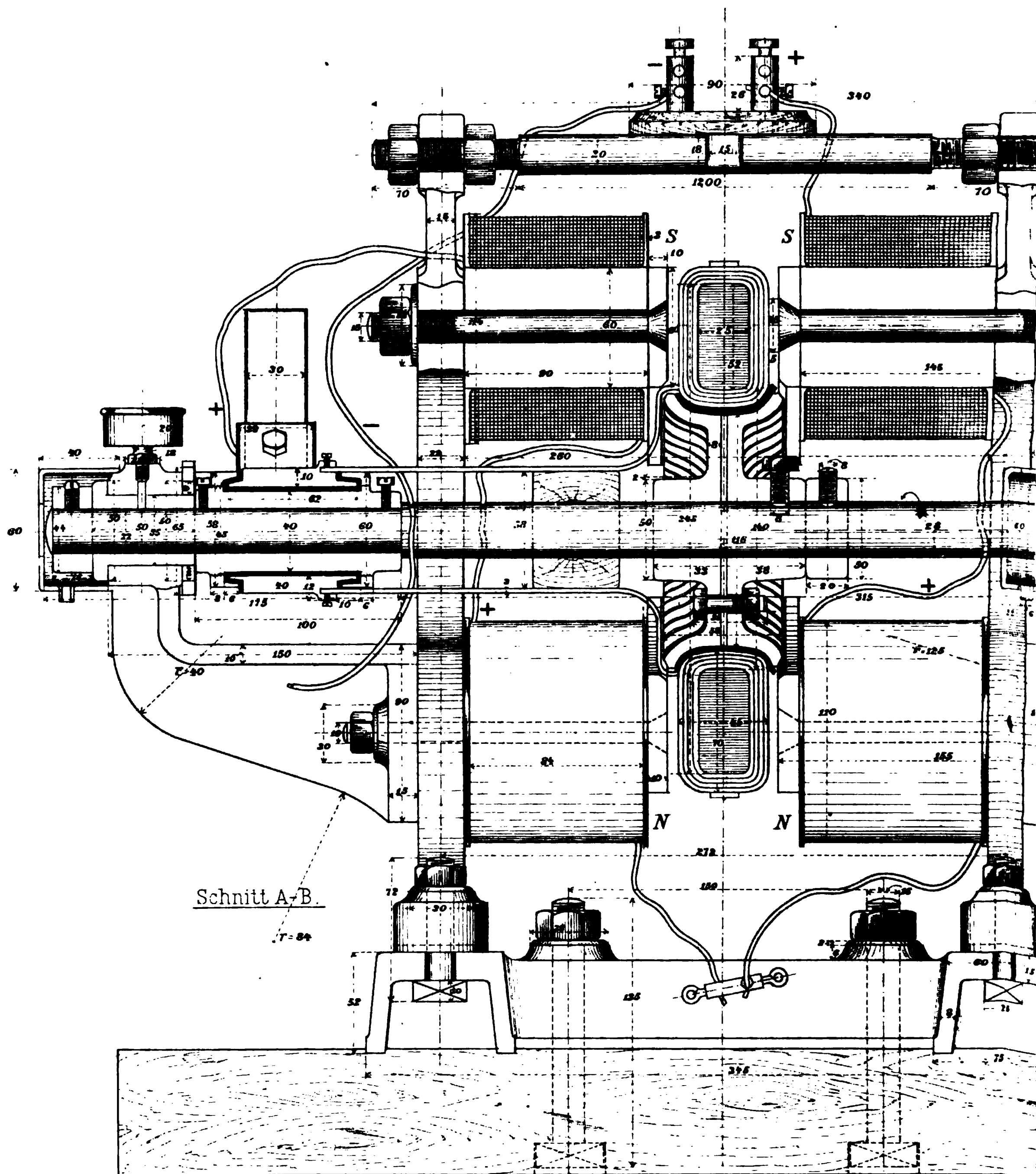


.einer in Leipzig.

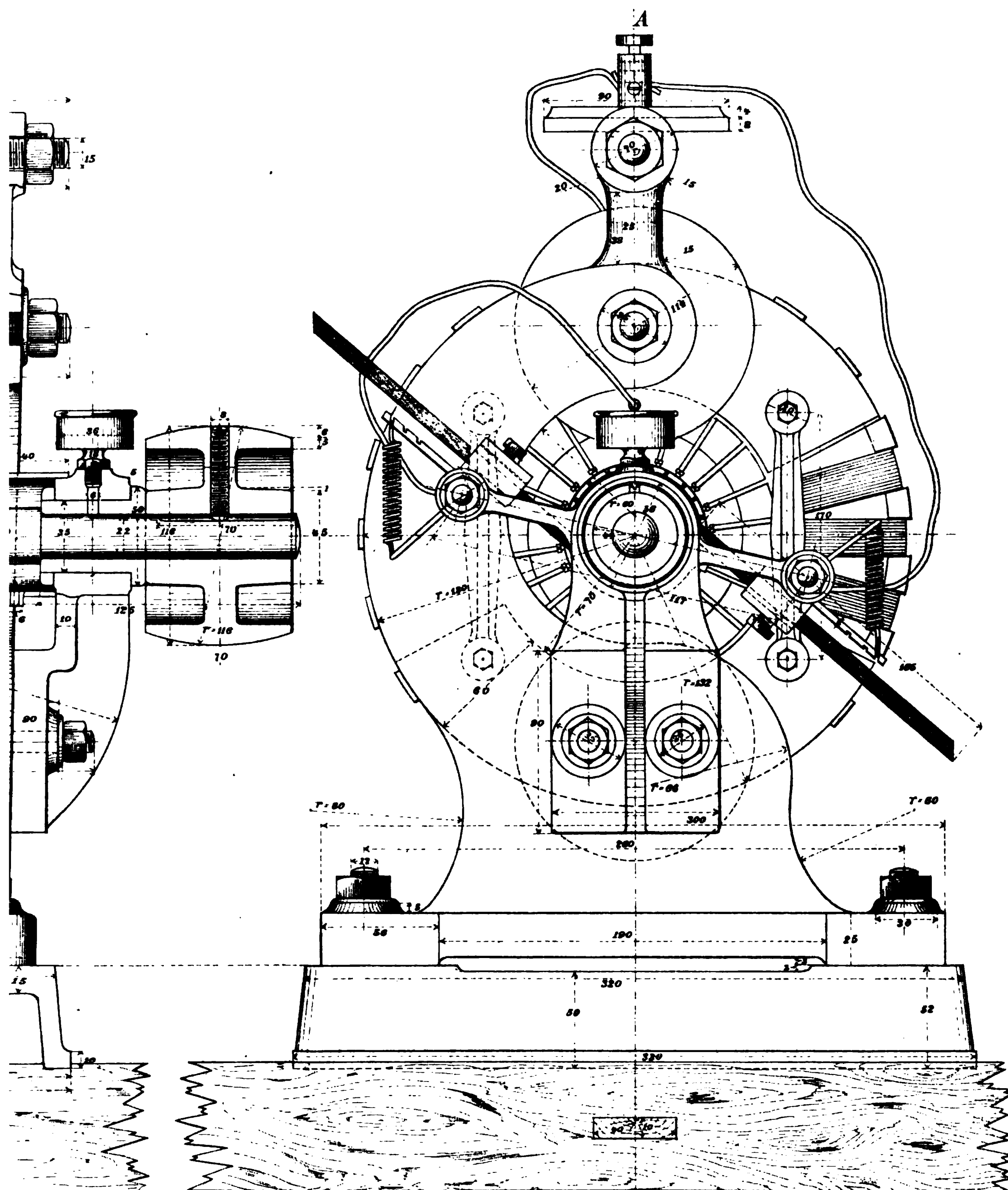
Verlag von Oskar



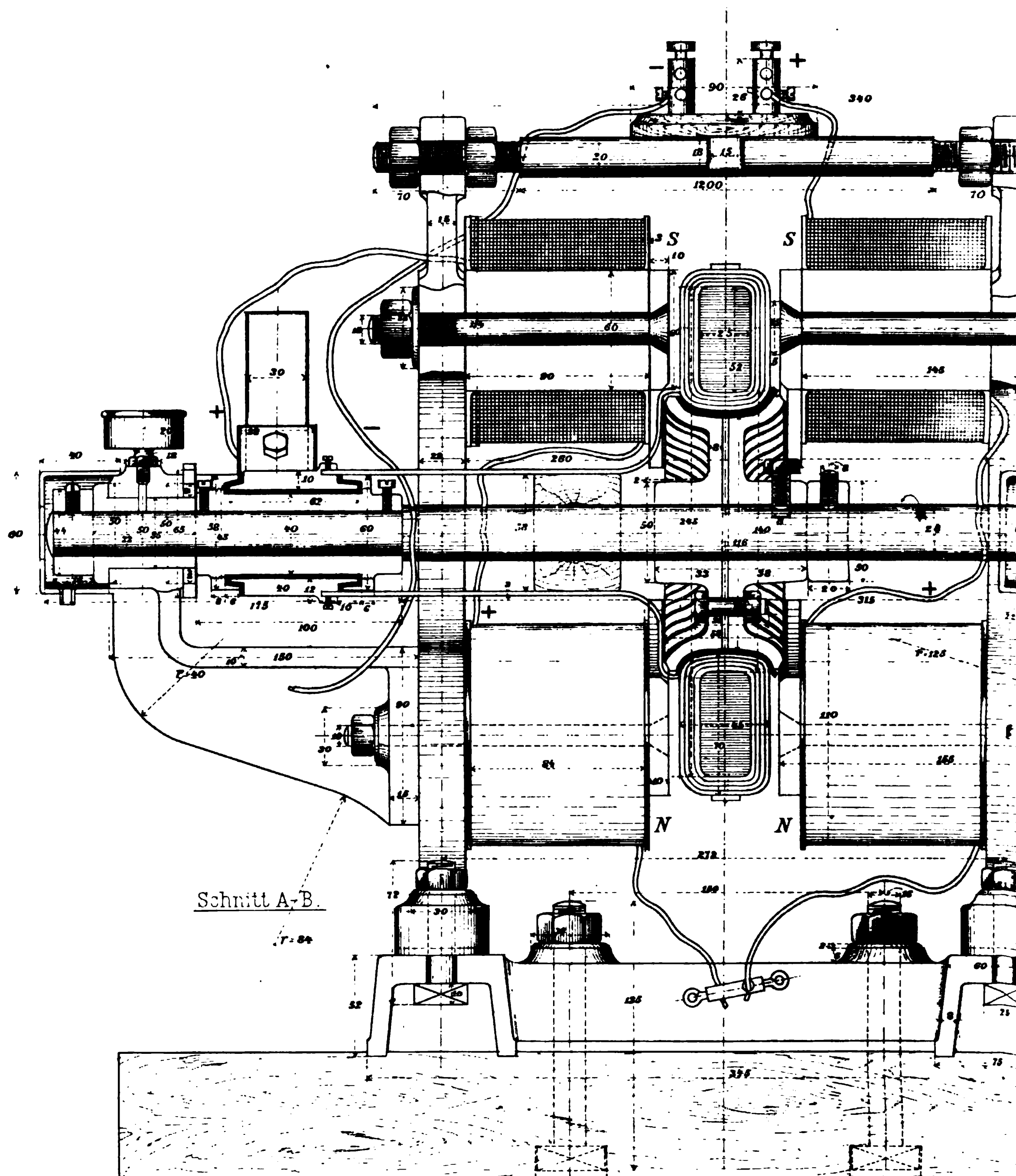
einer in Leipzig



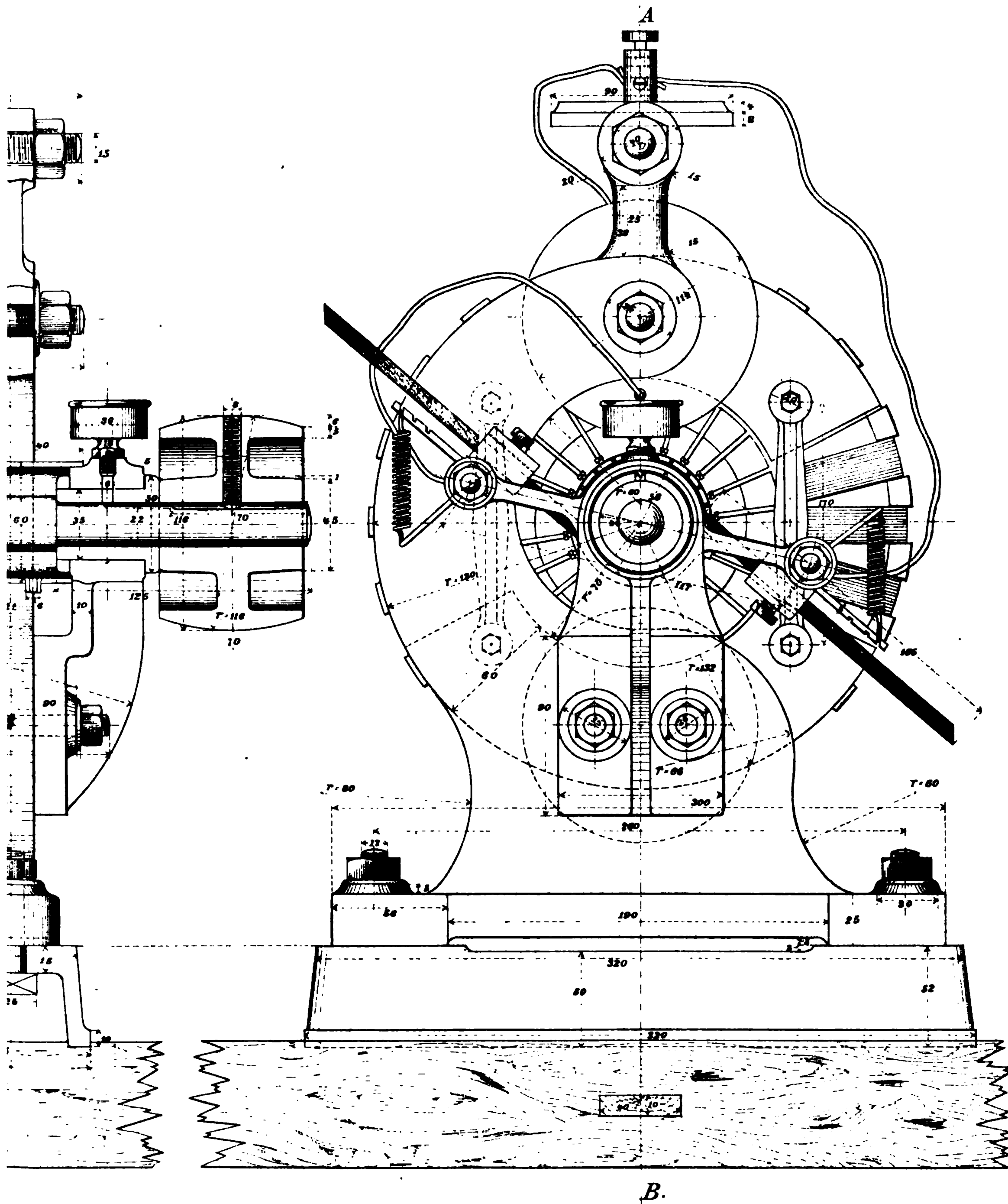
Verlag von Oskar



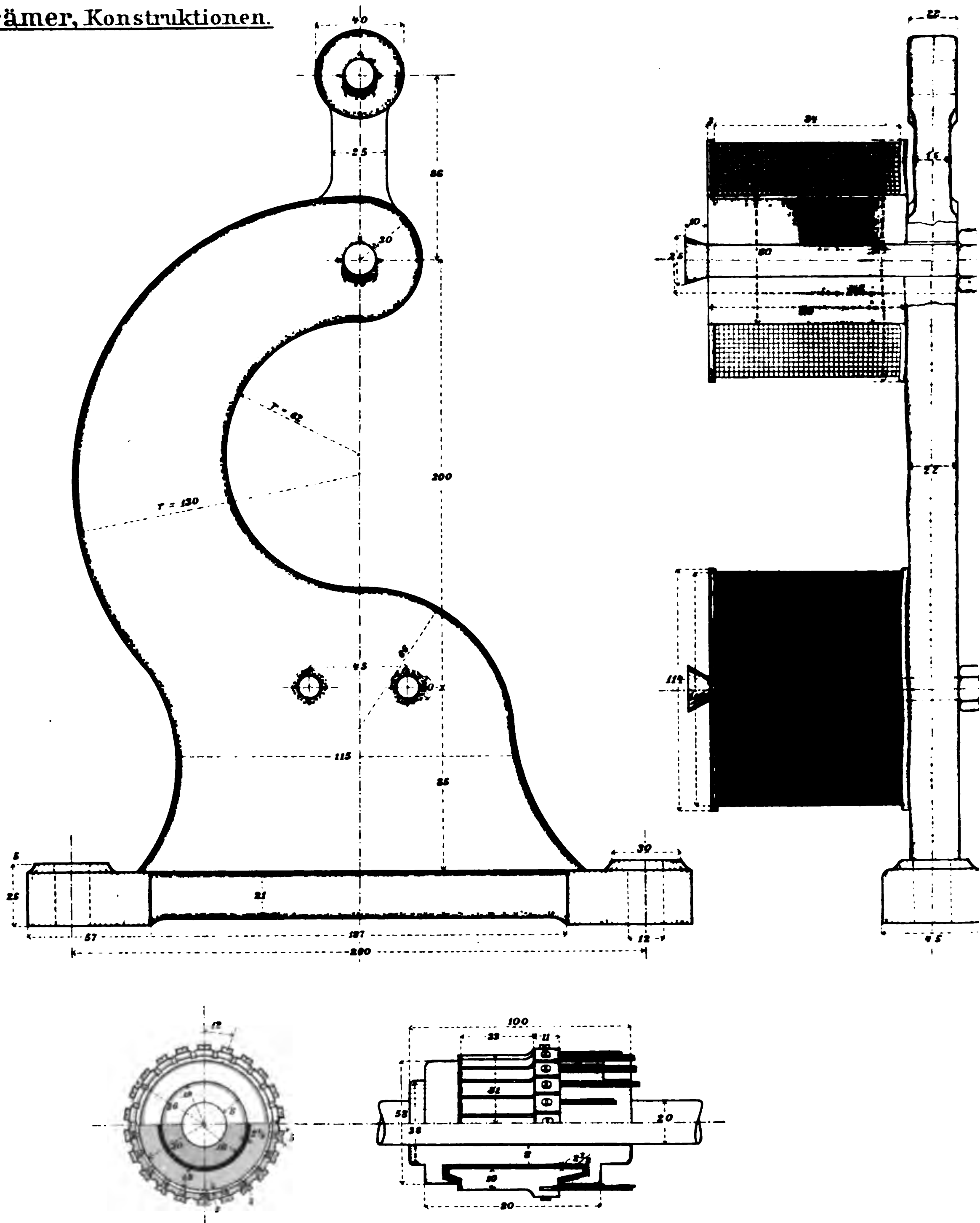
ar Leiner in Leipzig



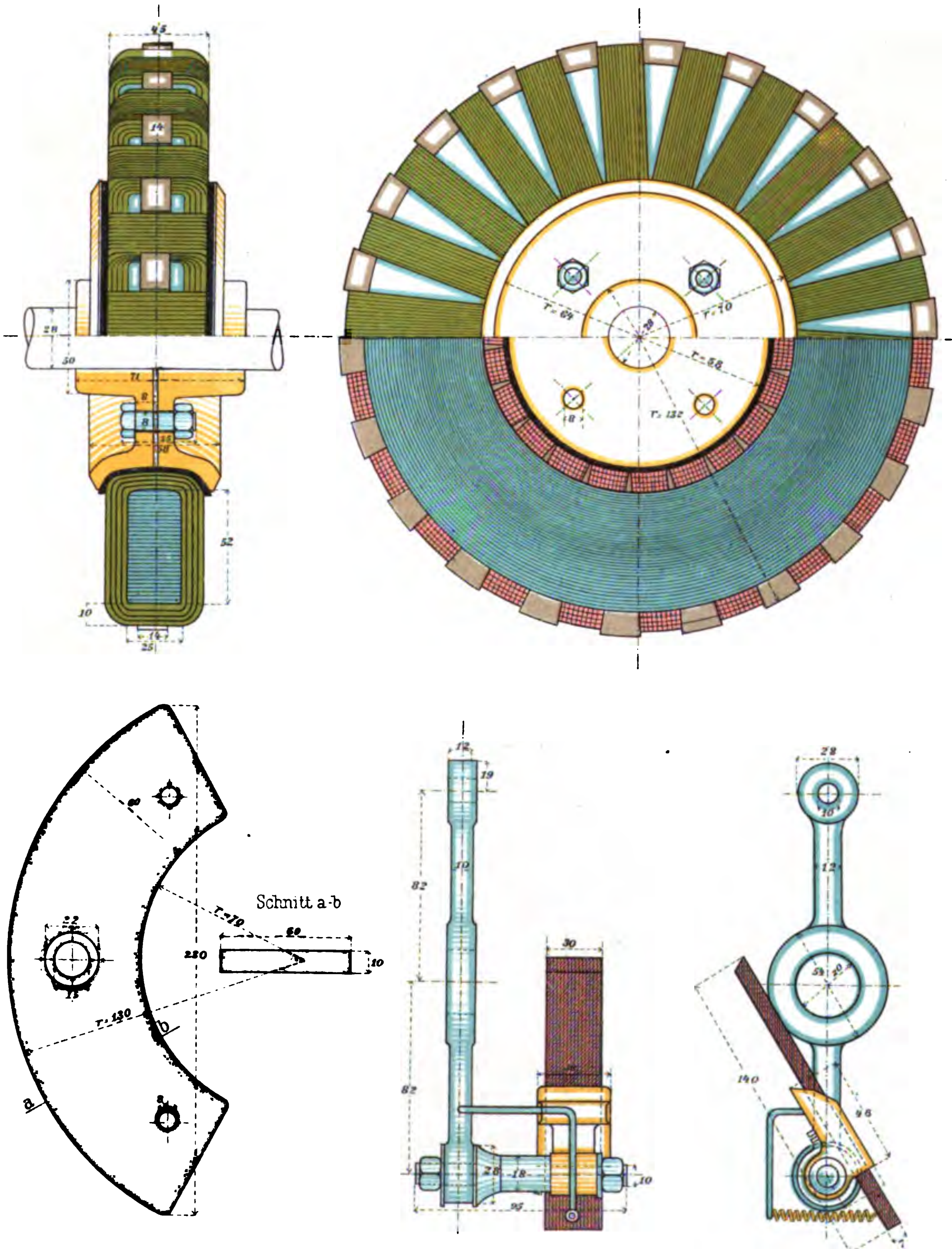
Verlag v r. Osk



Oskar Leiner in Leipzig



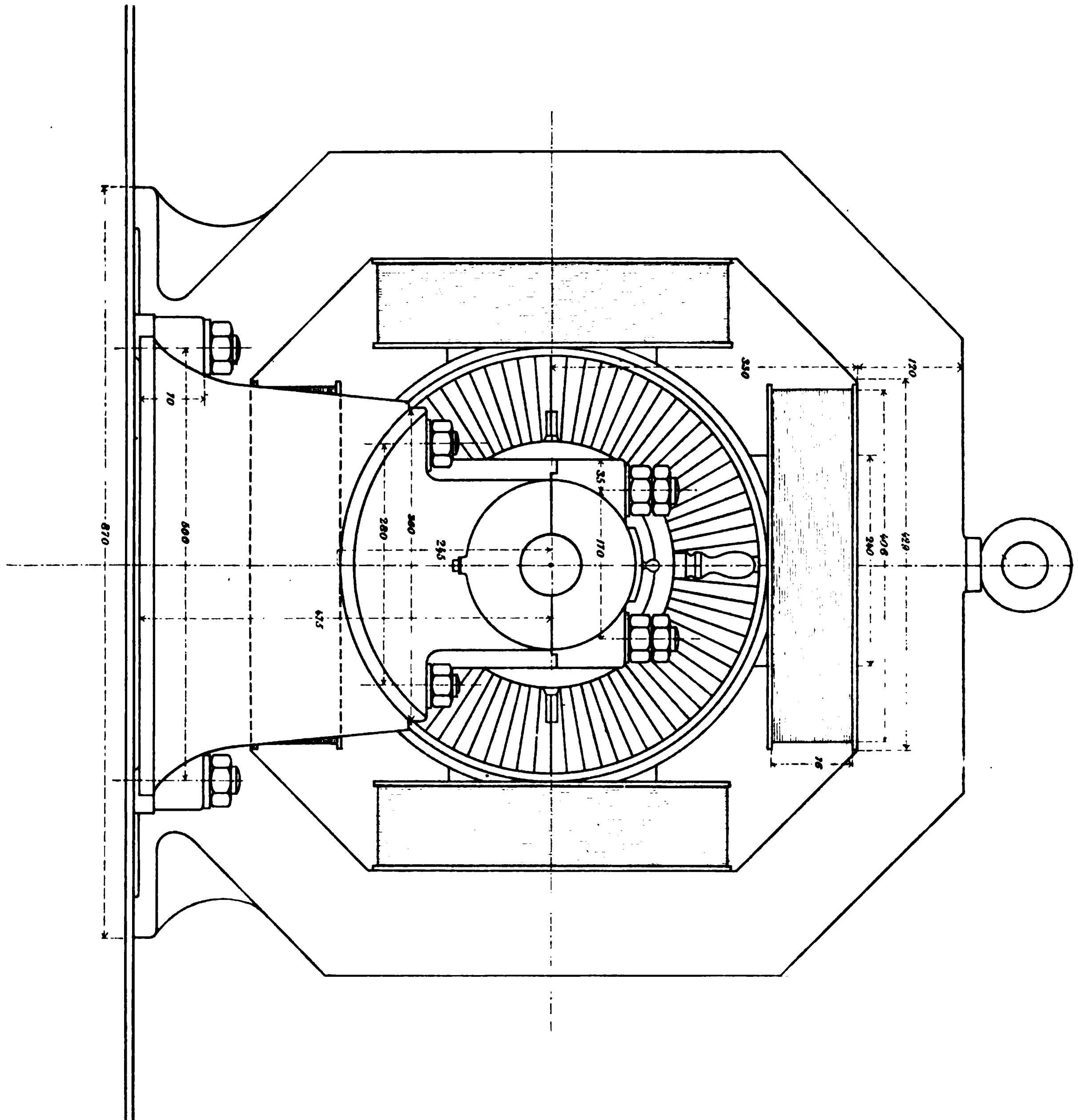
Verlag von Oskar



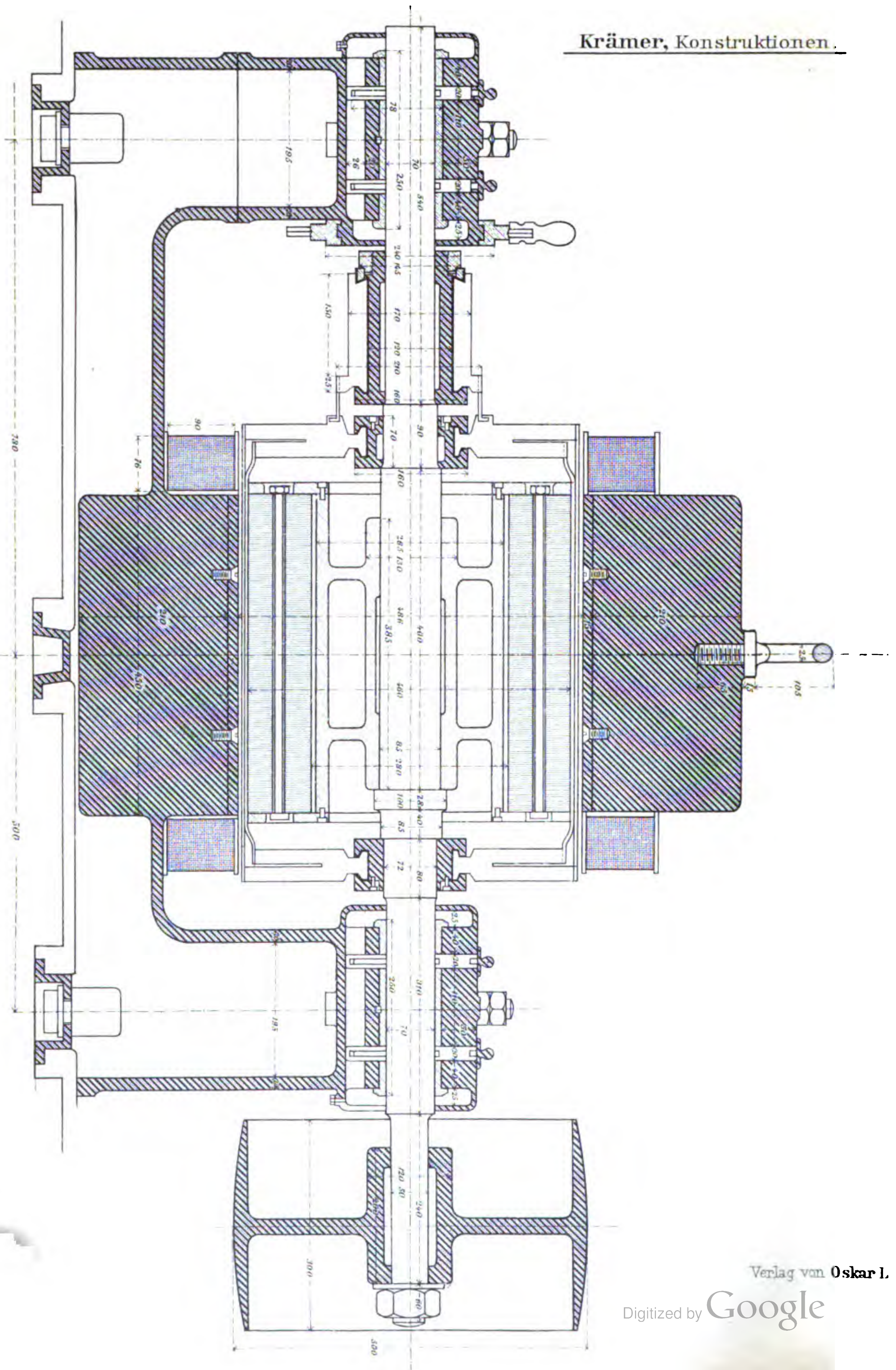
Leiner in Leipzig

Krämer, Konstruktionen.

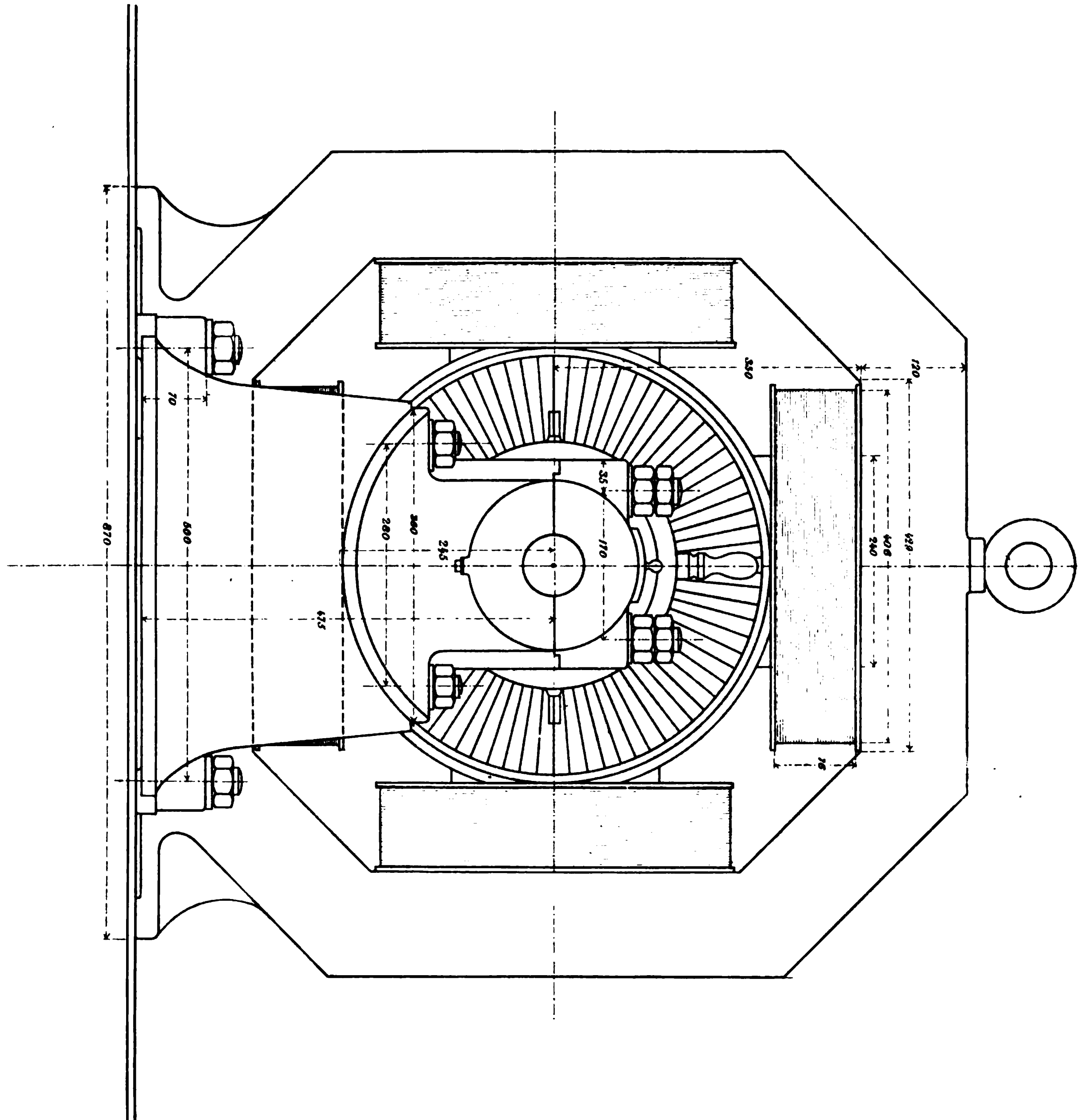
Verlag von **Oskar L**



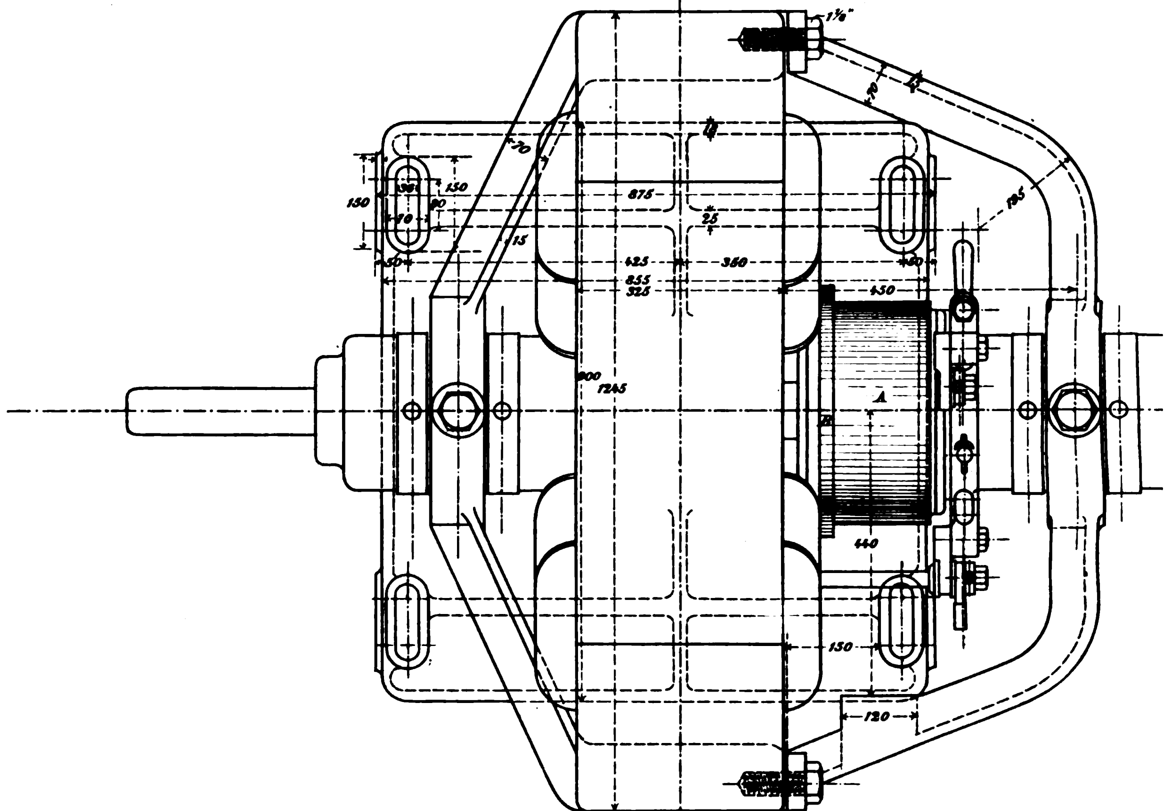
iner in Leipzig



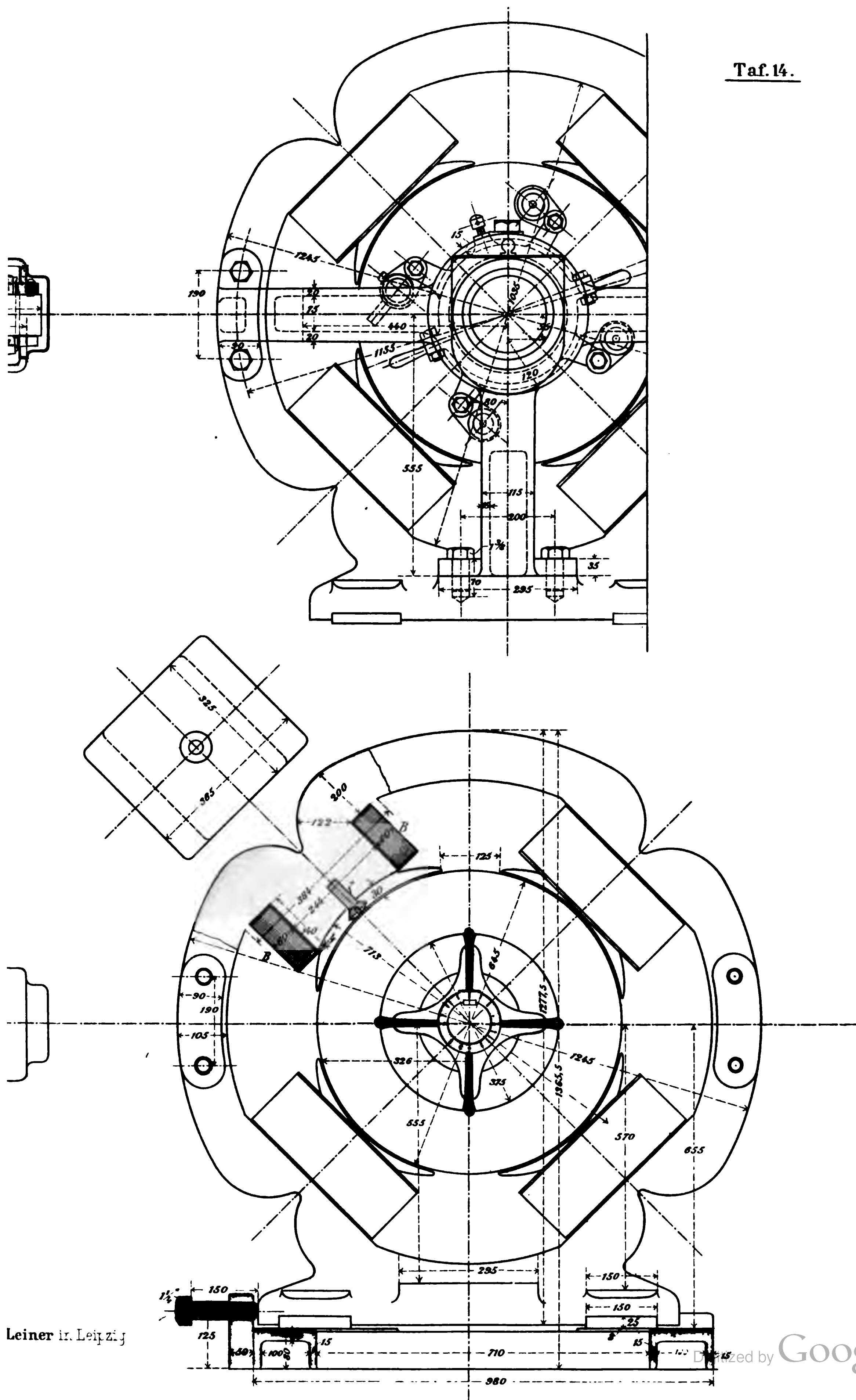
Verlag von **Oskar L**



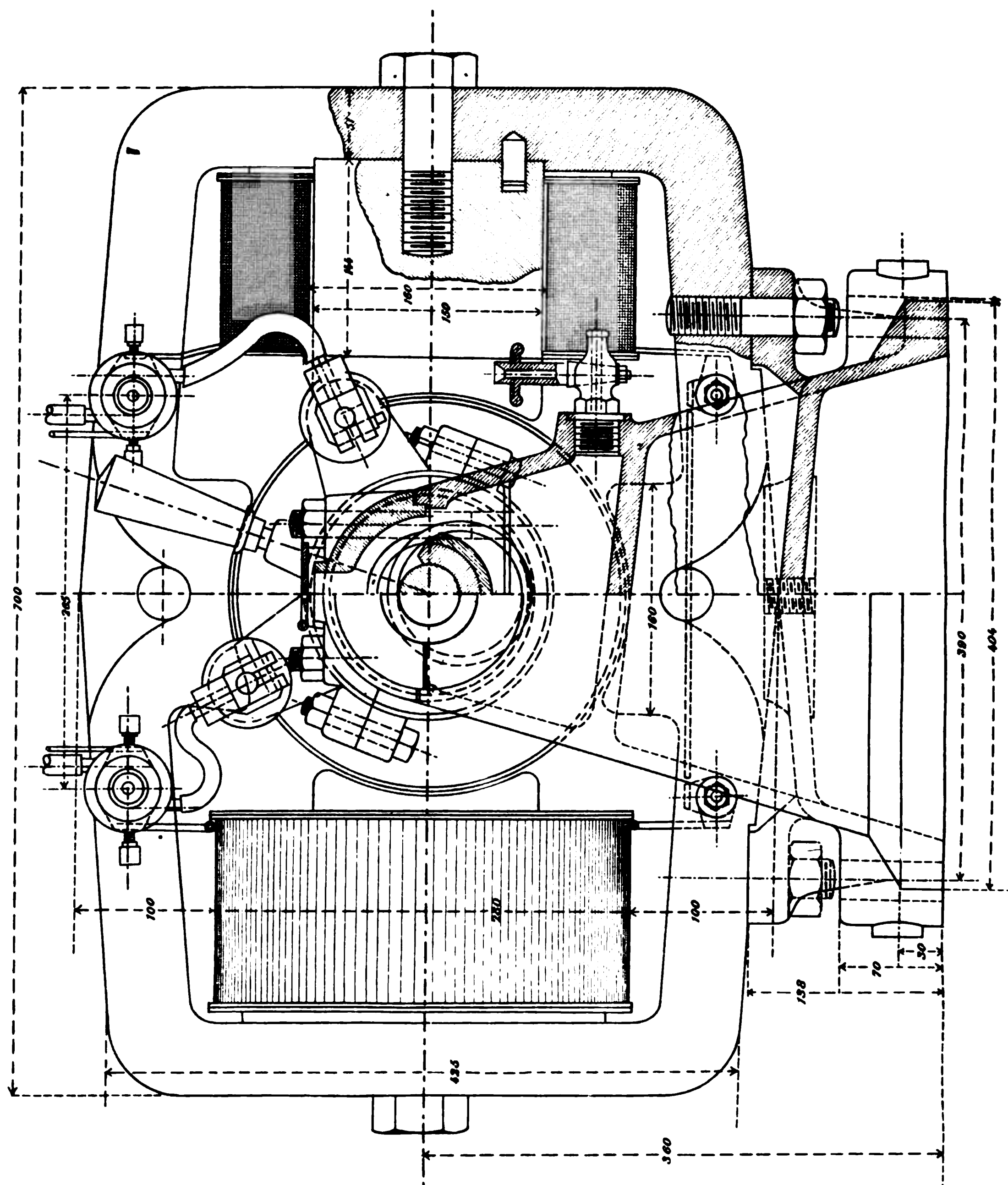
iner in Leipzig



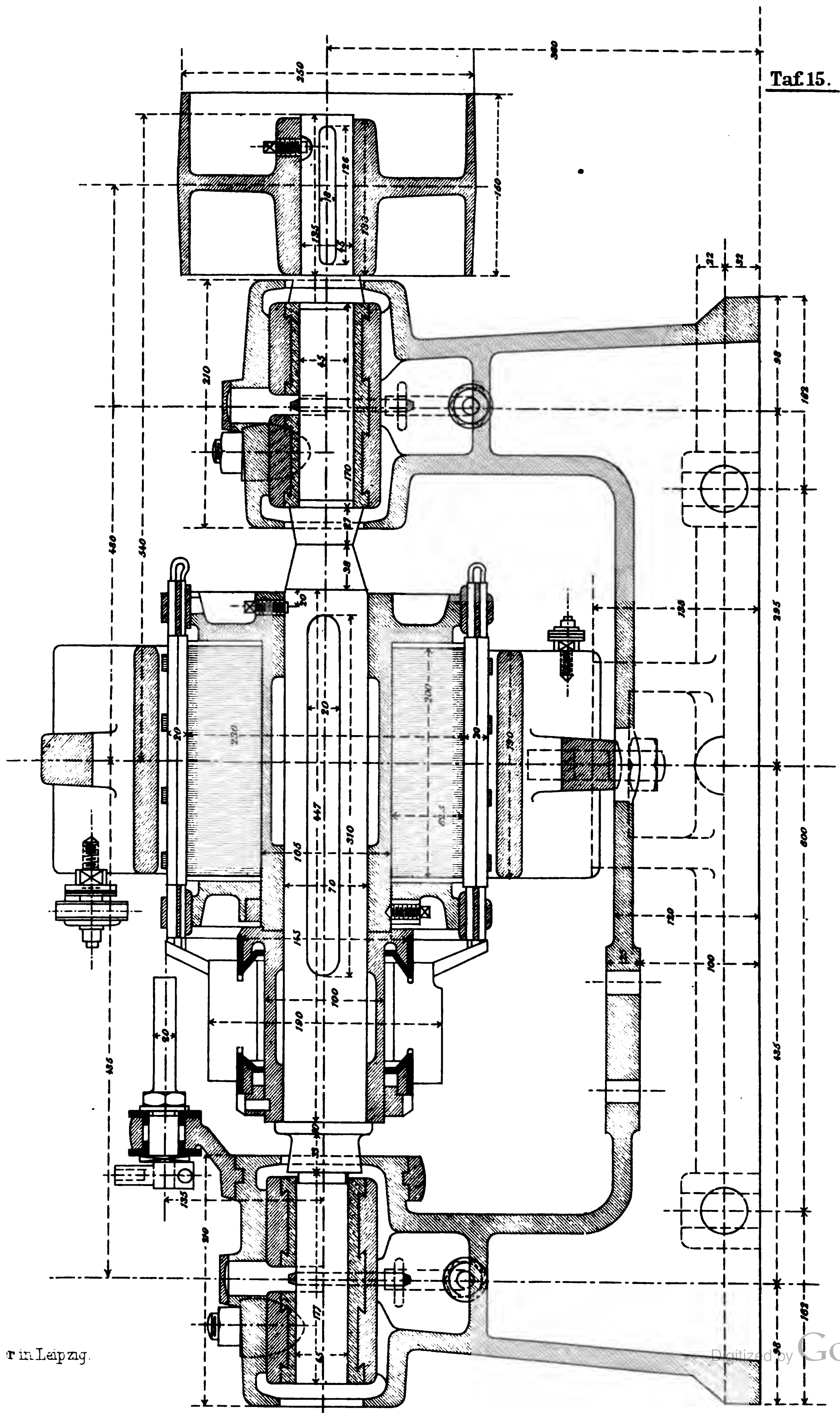
Verlag von **Oskar**



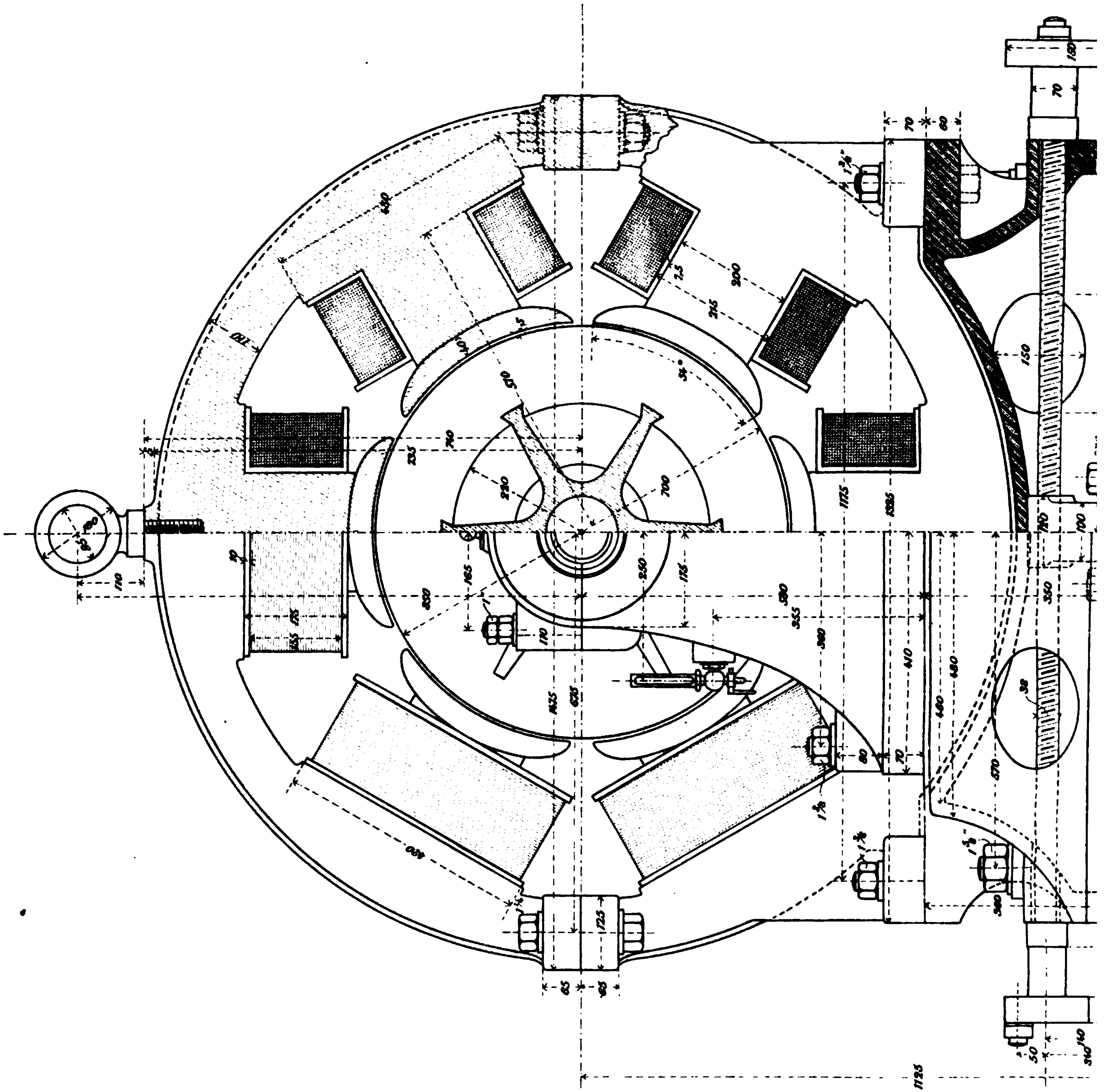
Leiner in Leipzig



Verlag von Oskar Lein

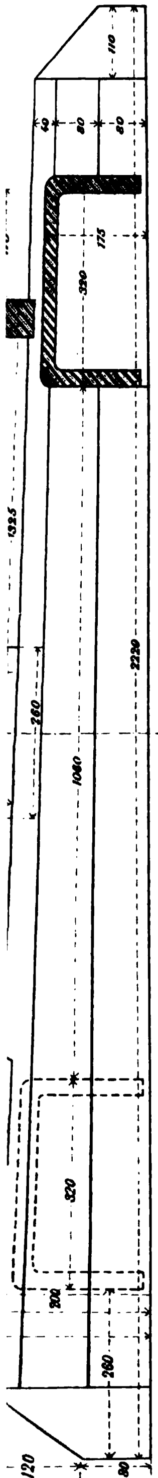


r in Leipzig.

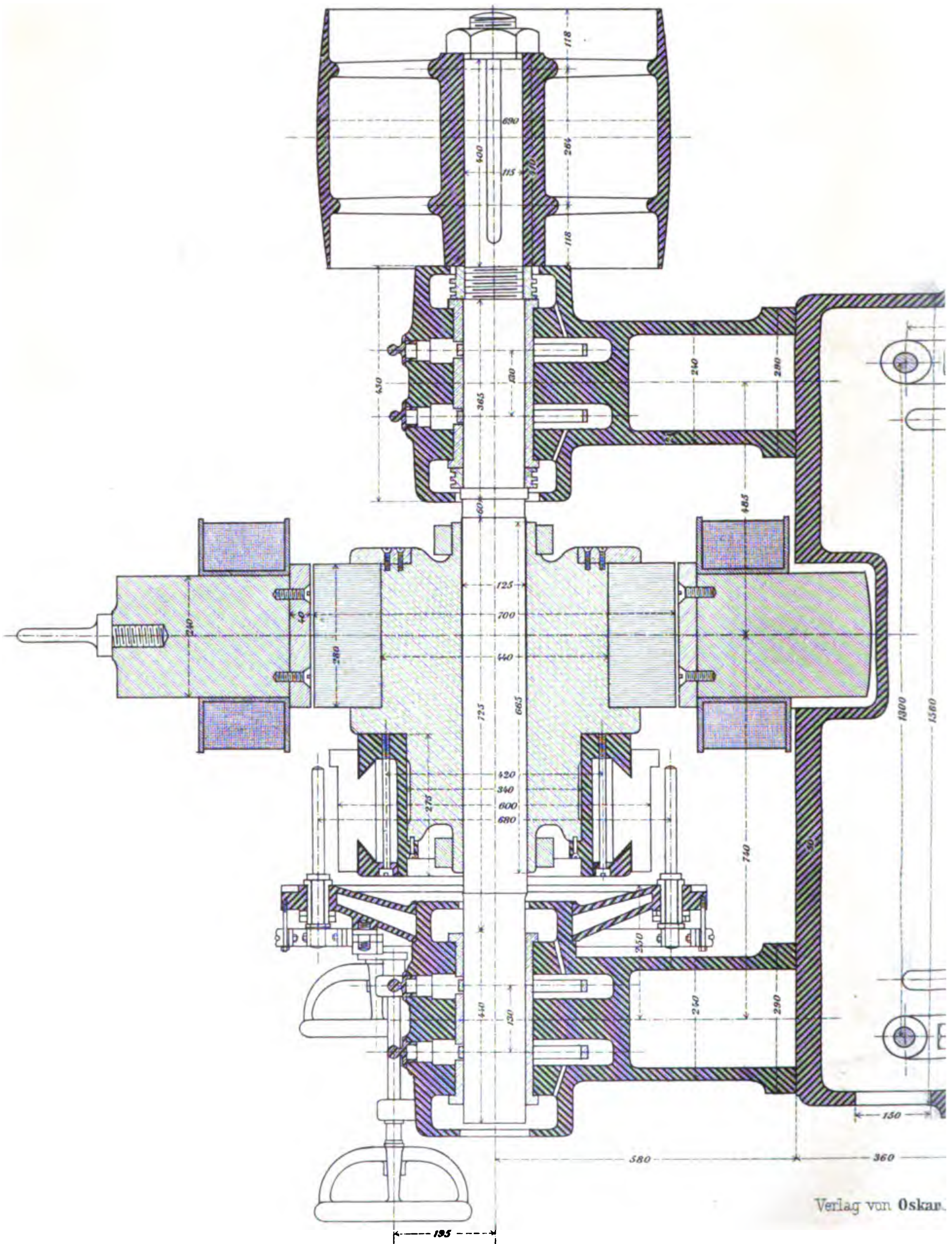


Verlag von Oskar

Taf.16.

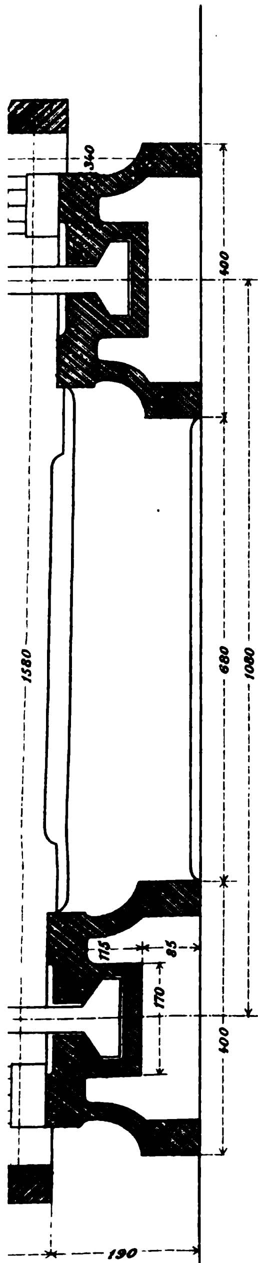


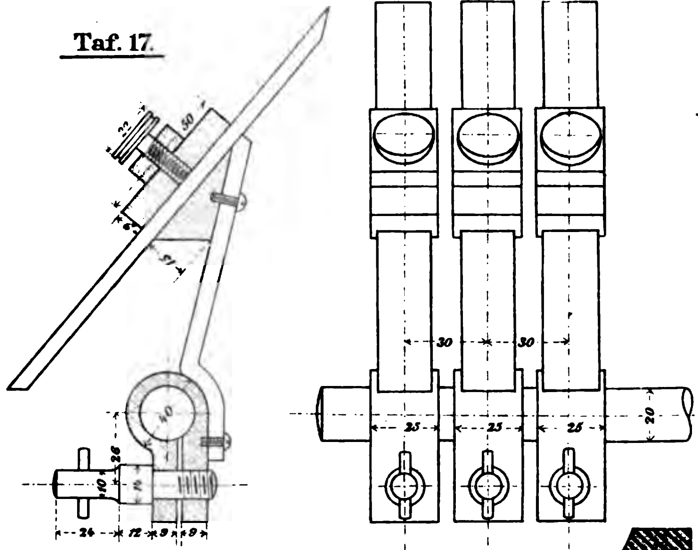
ler in Leipzig

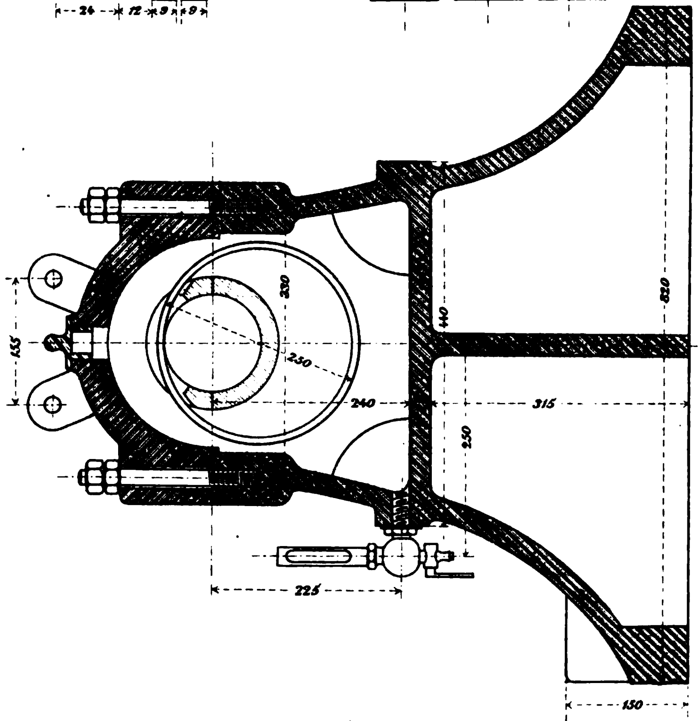


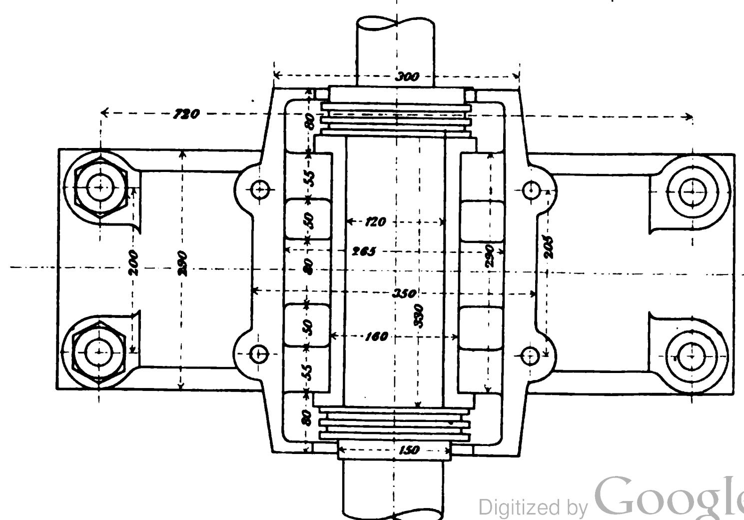
Verlag von Oskar

Taf. 17.

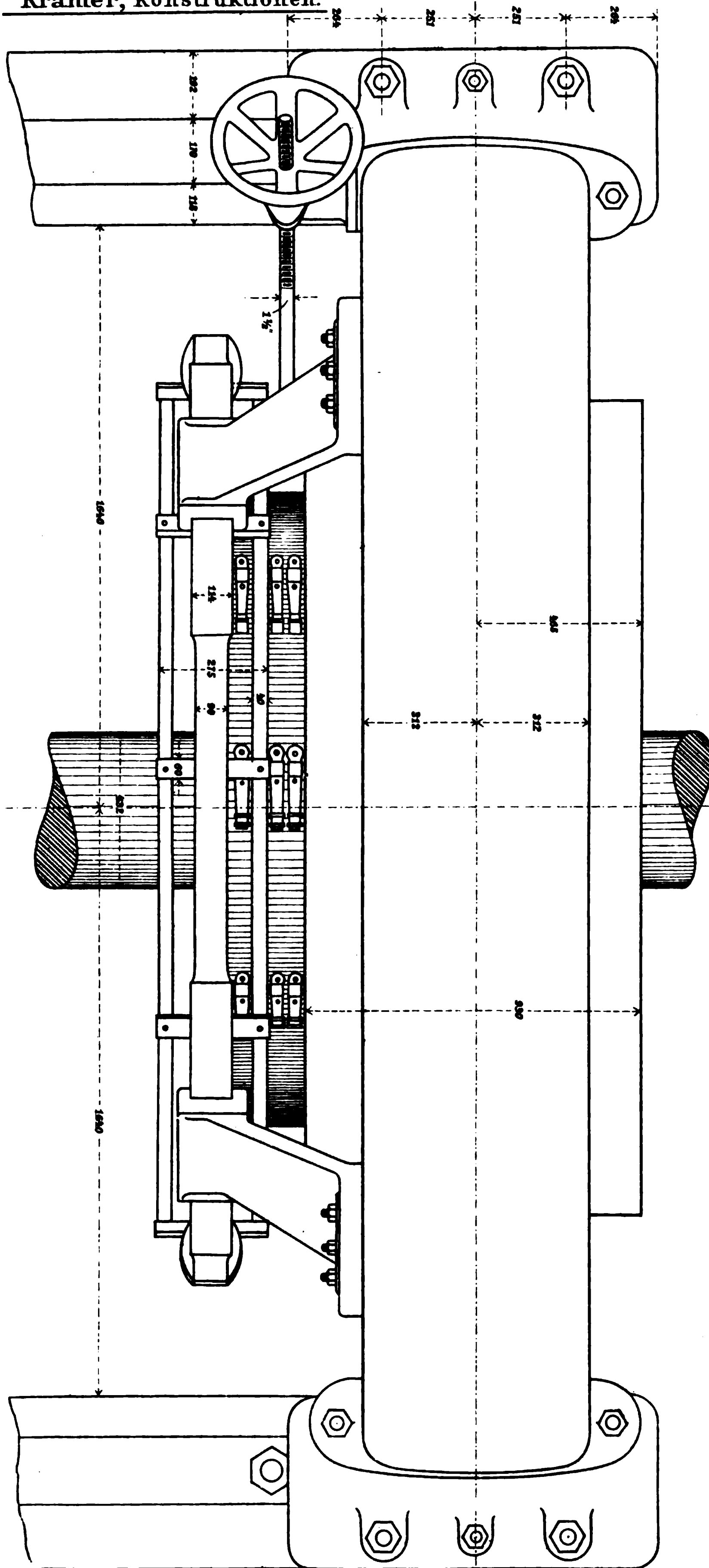




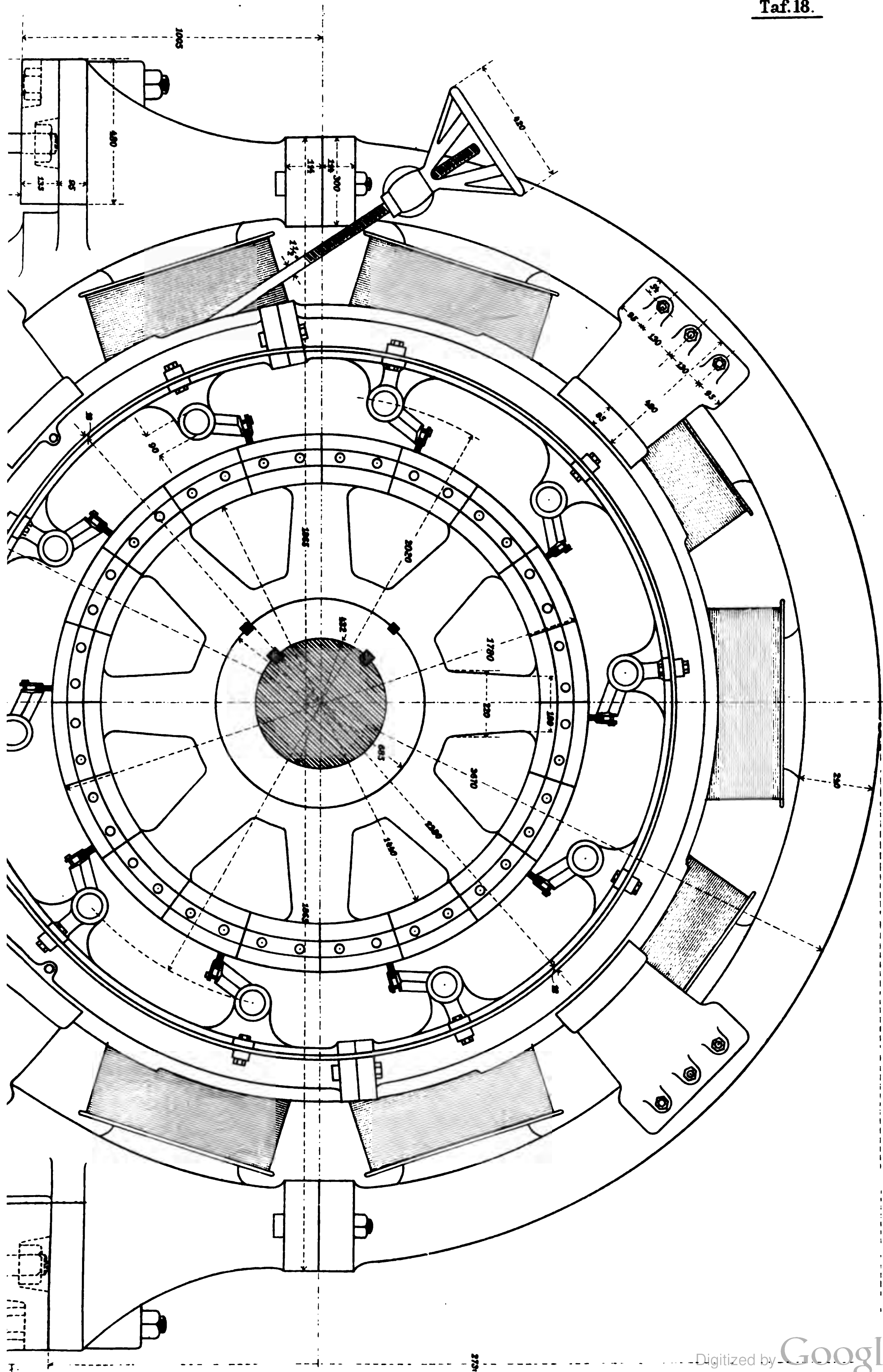




…einer in Leipzig.



Verlag von Oskar Leiner in Leipzig



4593

Fig. 1.

Fig. 10.

Verlag von **Oskar Leiner**

Taf. 19.

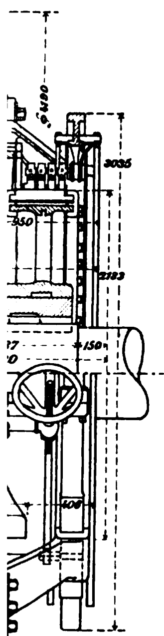


Fig. 2.

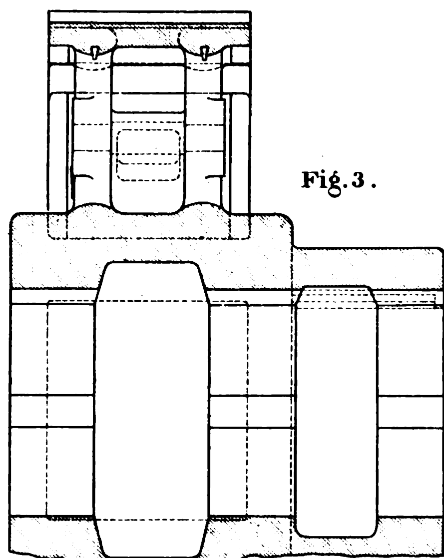


Fig. 3.

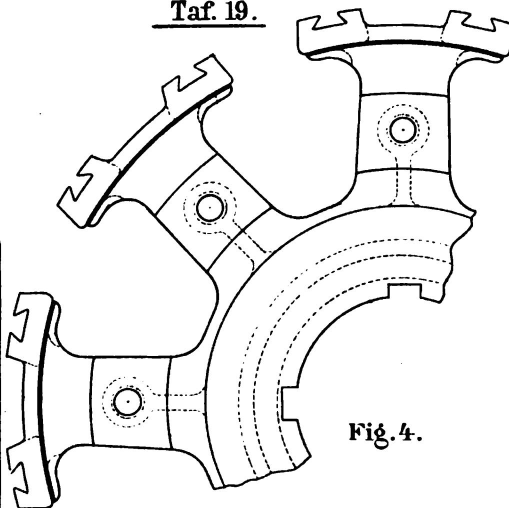


Fig. 4.

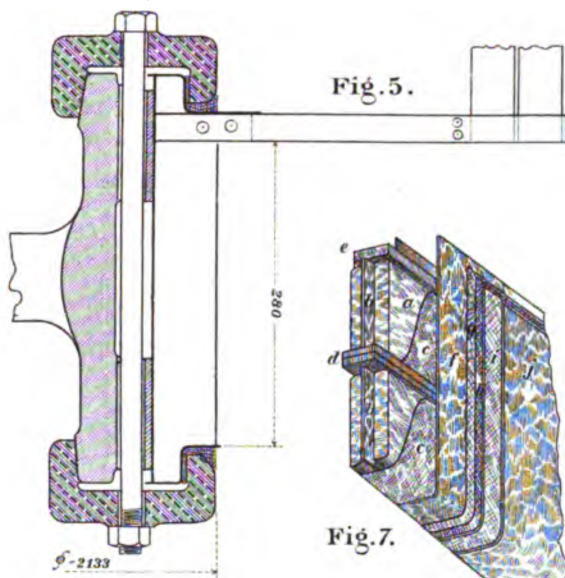


Fig. 5.



Fig. 7.

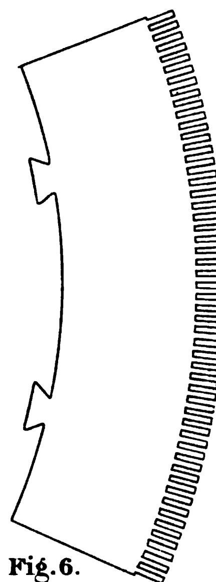


Fig. 6.

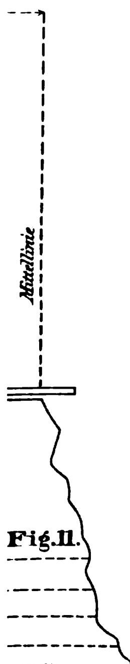


Fig. 11.

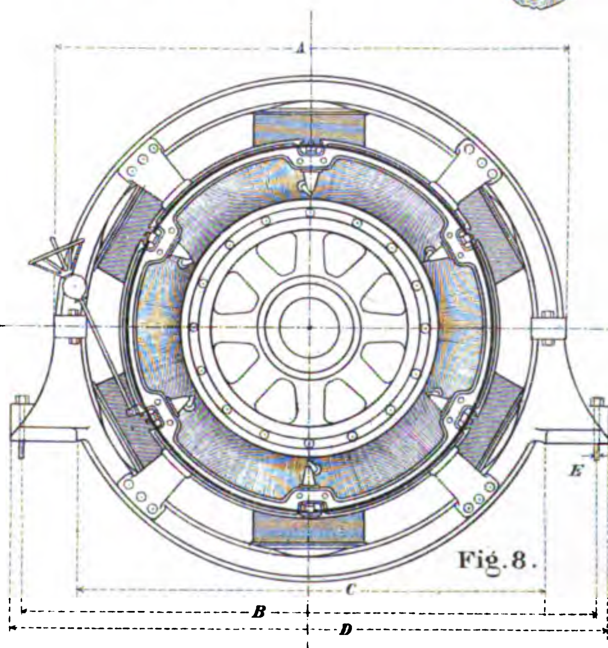


Fig. 8.

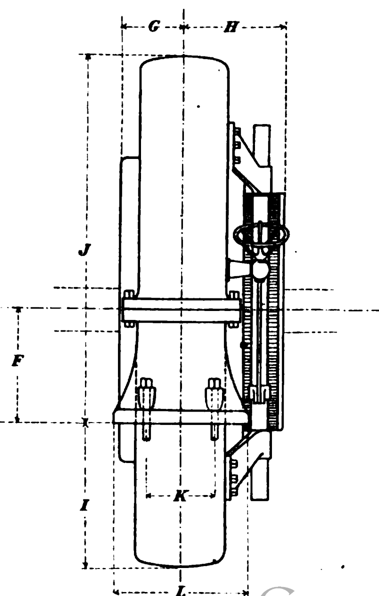
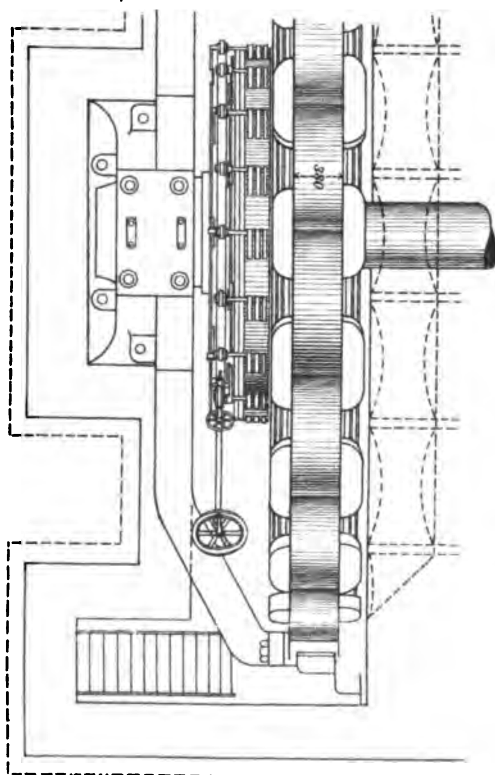
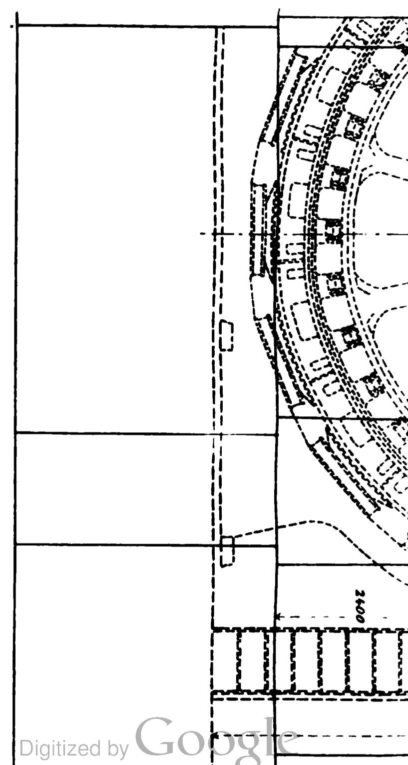


Fig. 9.

in Leipzig.

Krämer. Konstruktionen.





Verl[...]

Oskar Leiner in Leipzig

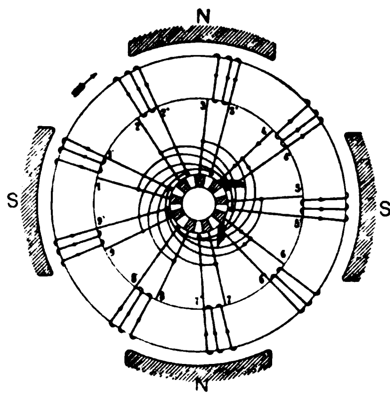


Fig. 1.

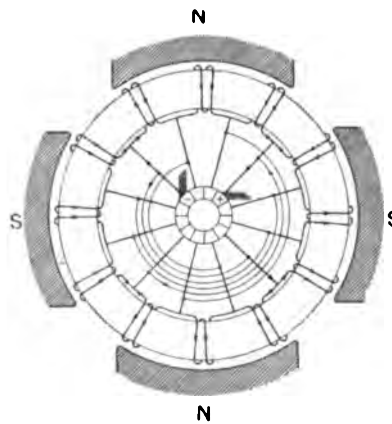


Fig. 2.

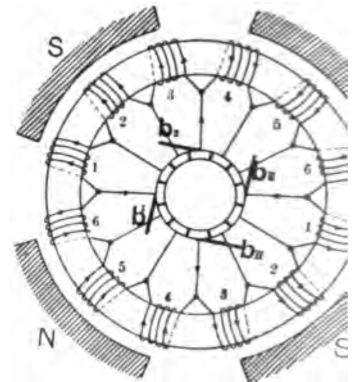


Fig. 3.

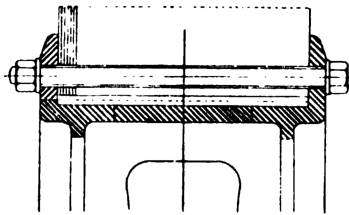
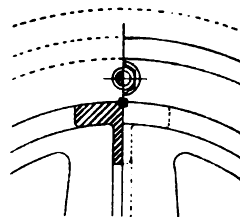
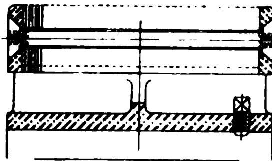
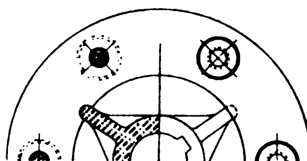
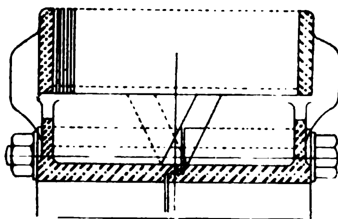
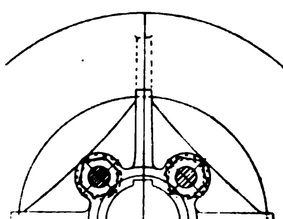
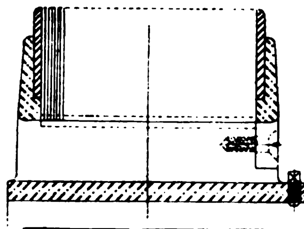
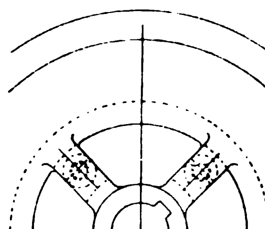









Fig. 7 bis 10.

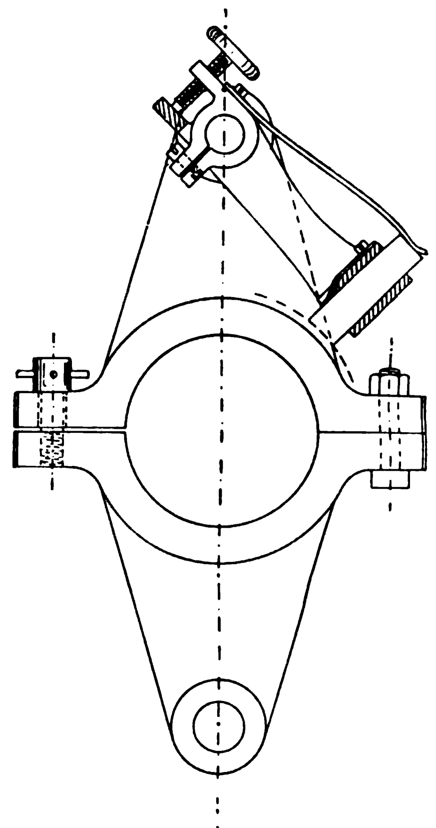


Fig. 15.

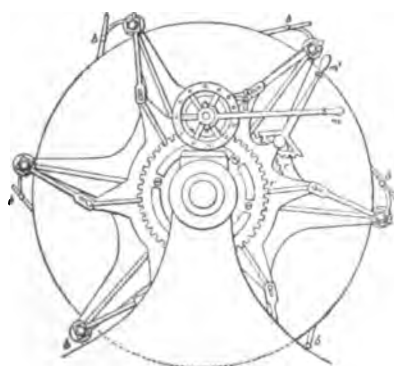


Fig. 18.

Sche

z

Konstruktion und Wicl

und Strom

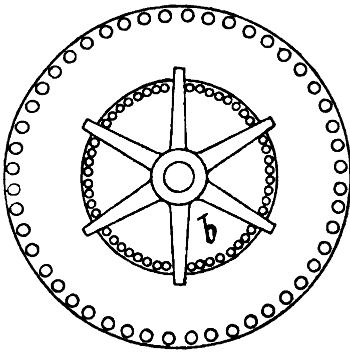


Fig. 4.

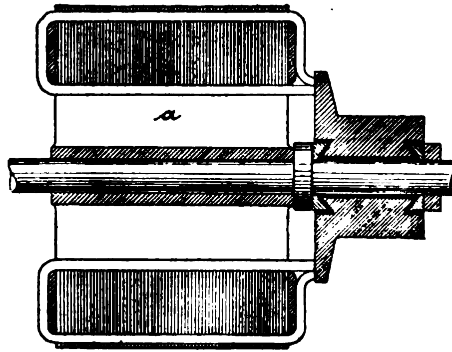


Fig. 5.

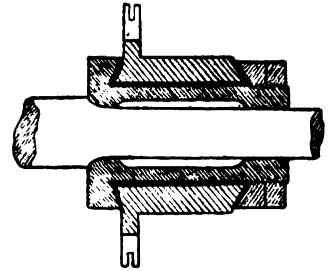


Fig. 6.

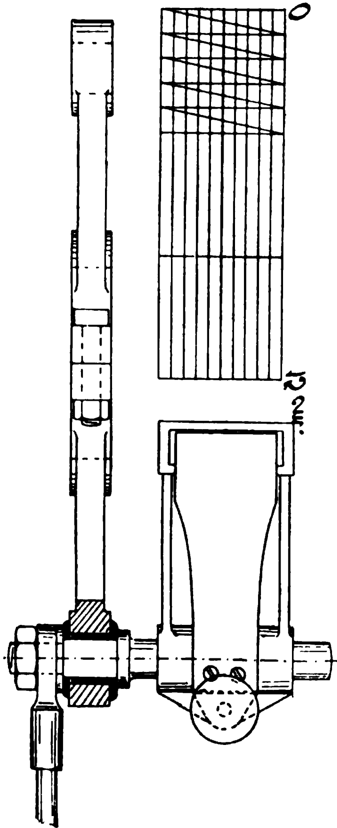


Fig. 16.

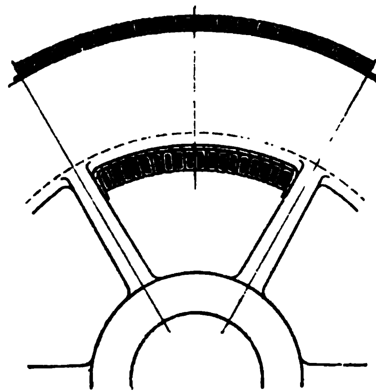


Fig. 11.

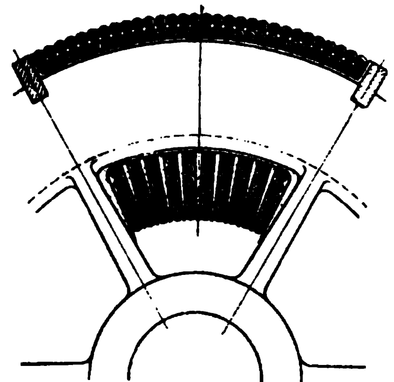


Fig. 12.

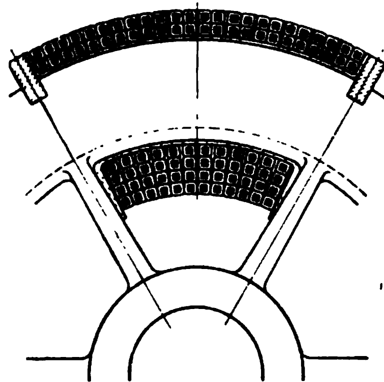


Fig. 13.

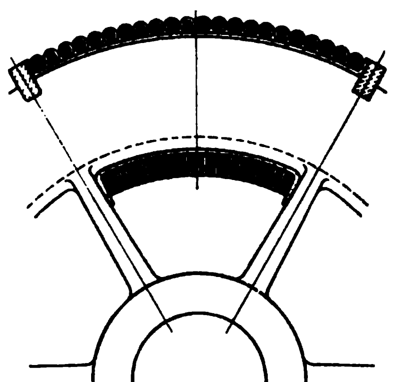


Fig. 14.

mata

r

elung der Ring-Anker

abnehmer.

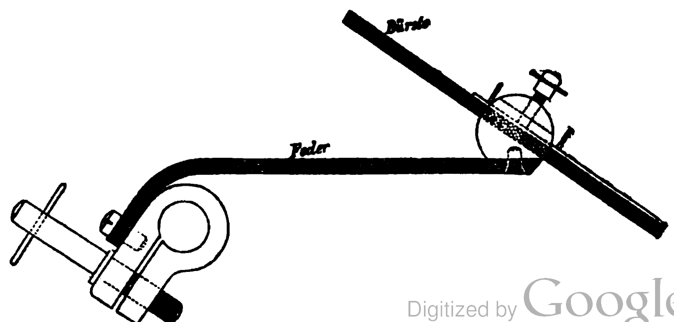
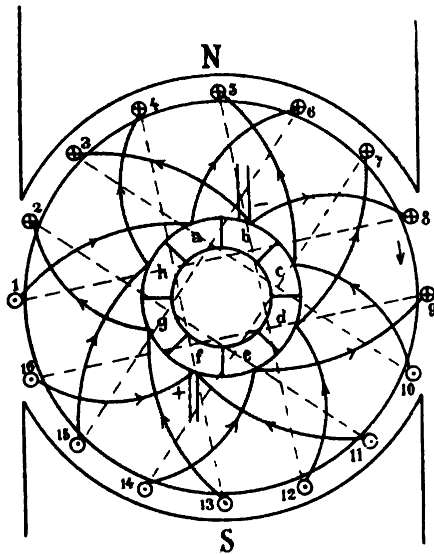


Fig. 17.



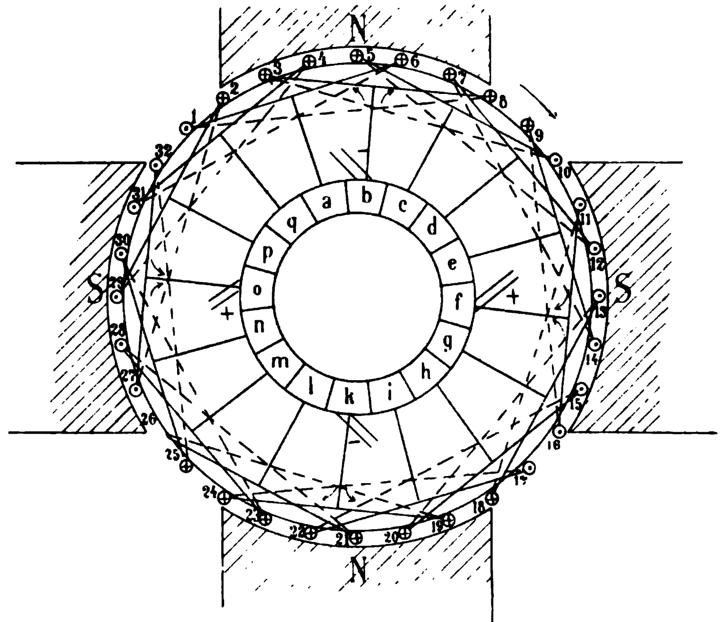
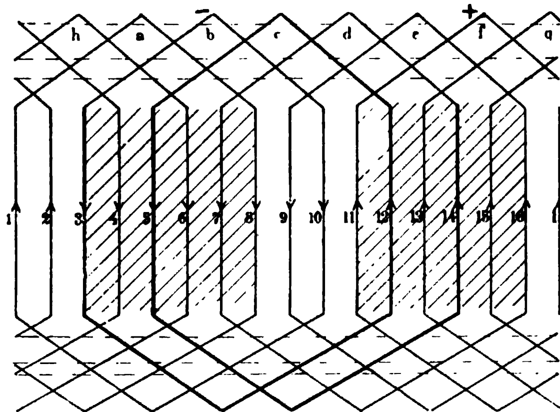
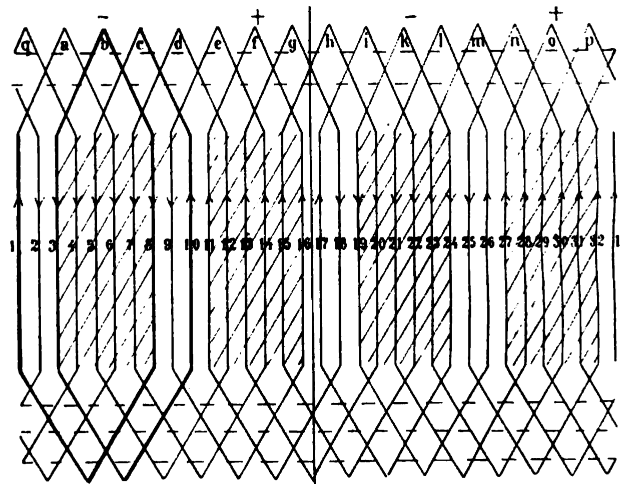


Fig. { 1 / 2 Zweipolige Schleifen-Wickelung.

Fig. { 3 / 4 Vierpolige Schleifen-Wickelung in Parallel-Schaltung.





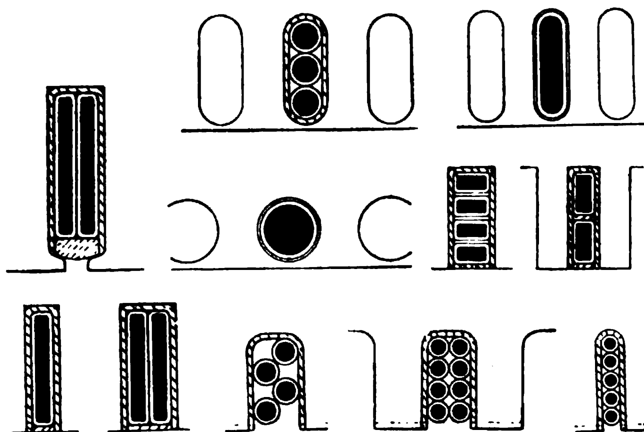


Fig. 9. Peripherien der Nuten- und Lochanker.

Sche

z

Wickelung der

Verlag von Oskar

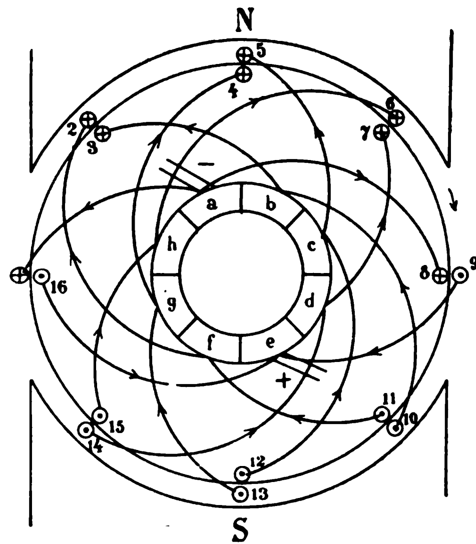


Fig. { 5 6 Zweipolige Wellenwickelung.

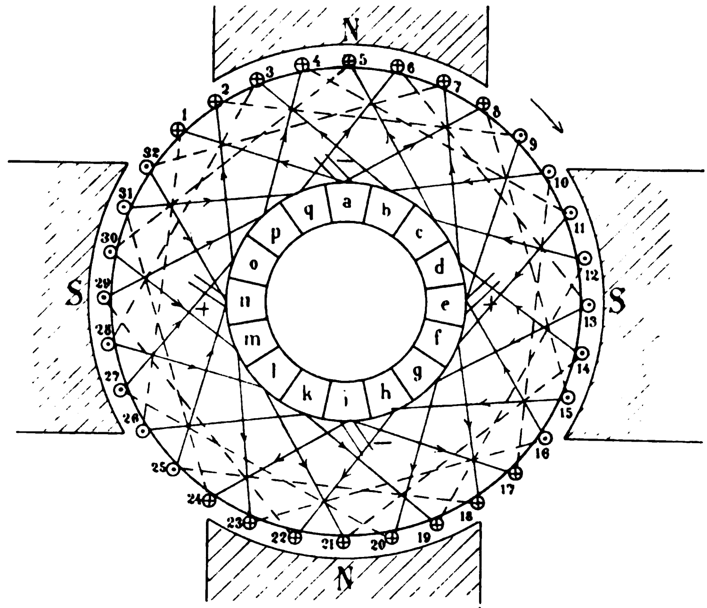
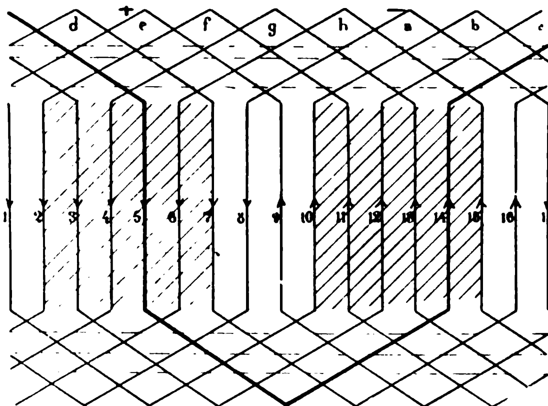
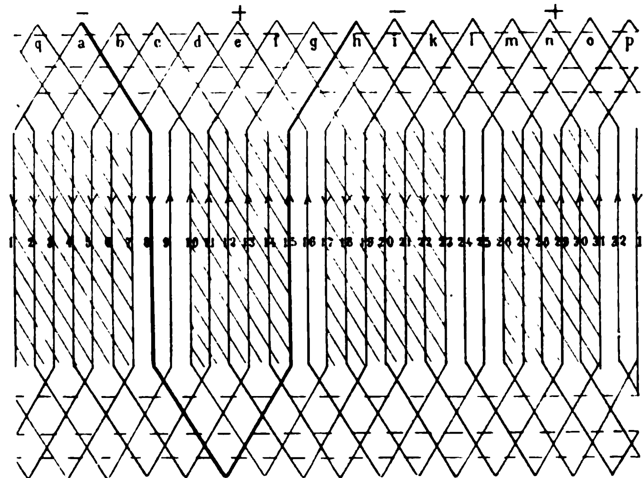


Fig. { 7 8 Vierpolige Wellen-Wickelung in Parallel-Schaltung.





mata

ır

[rommel - Anker.

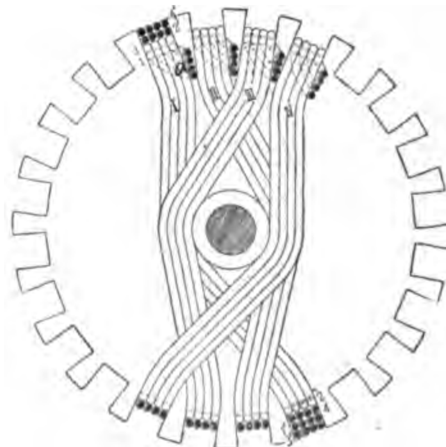


Fig. 10. Ausführung der Wickelung auf einem Trommel-Anker mit Nuten.

einer, Leipzig.

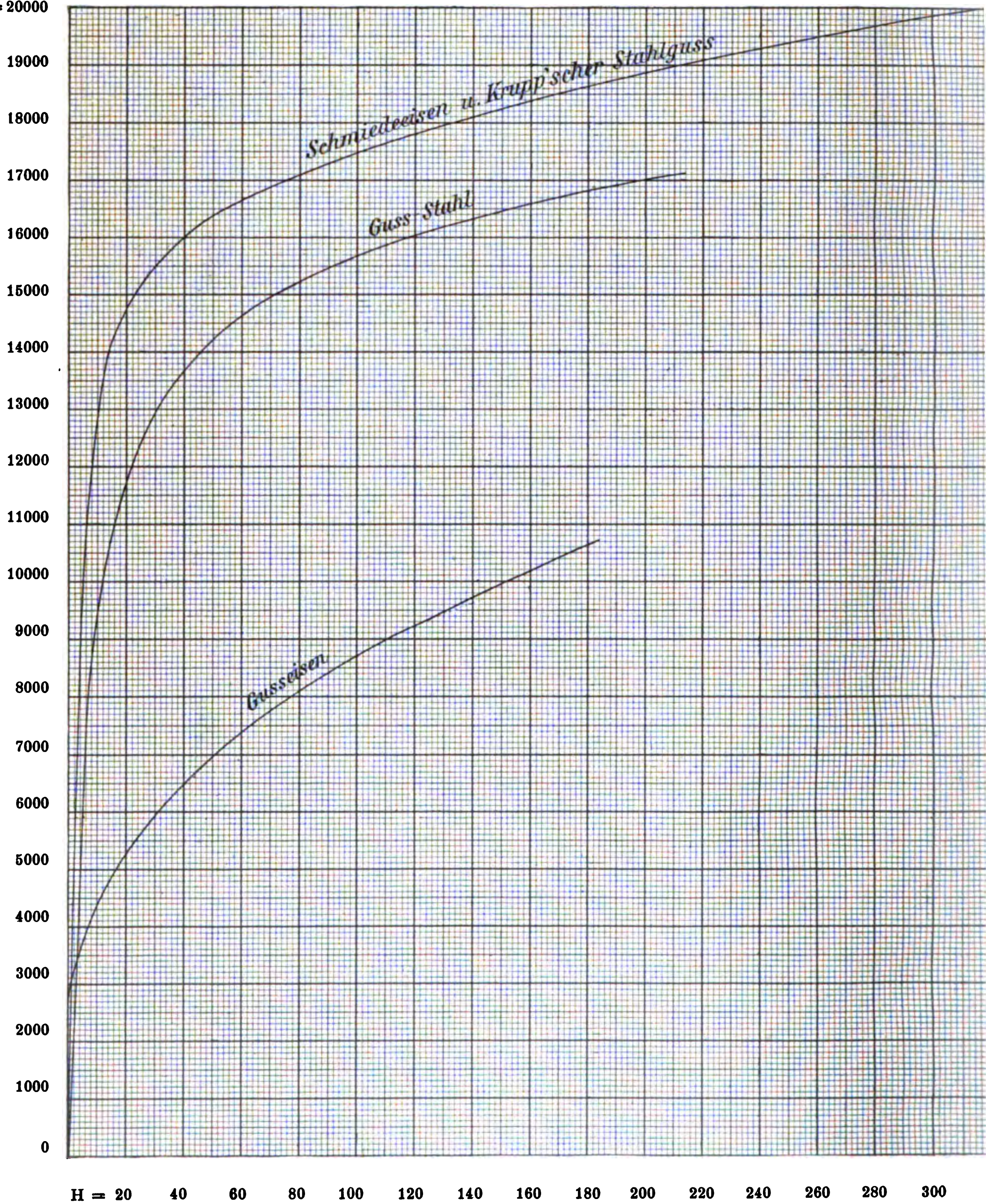


Fig. 1.

Verlag von Oskar

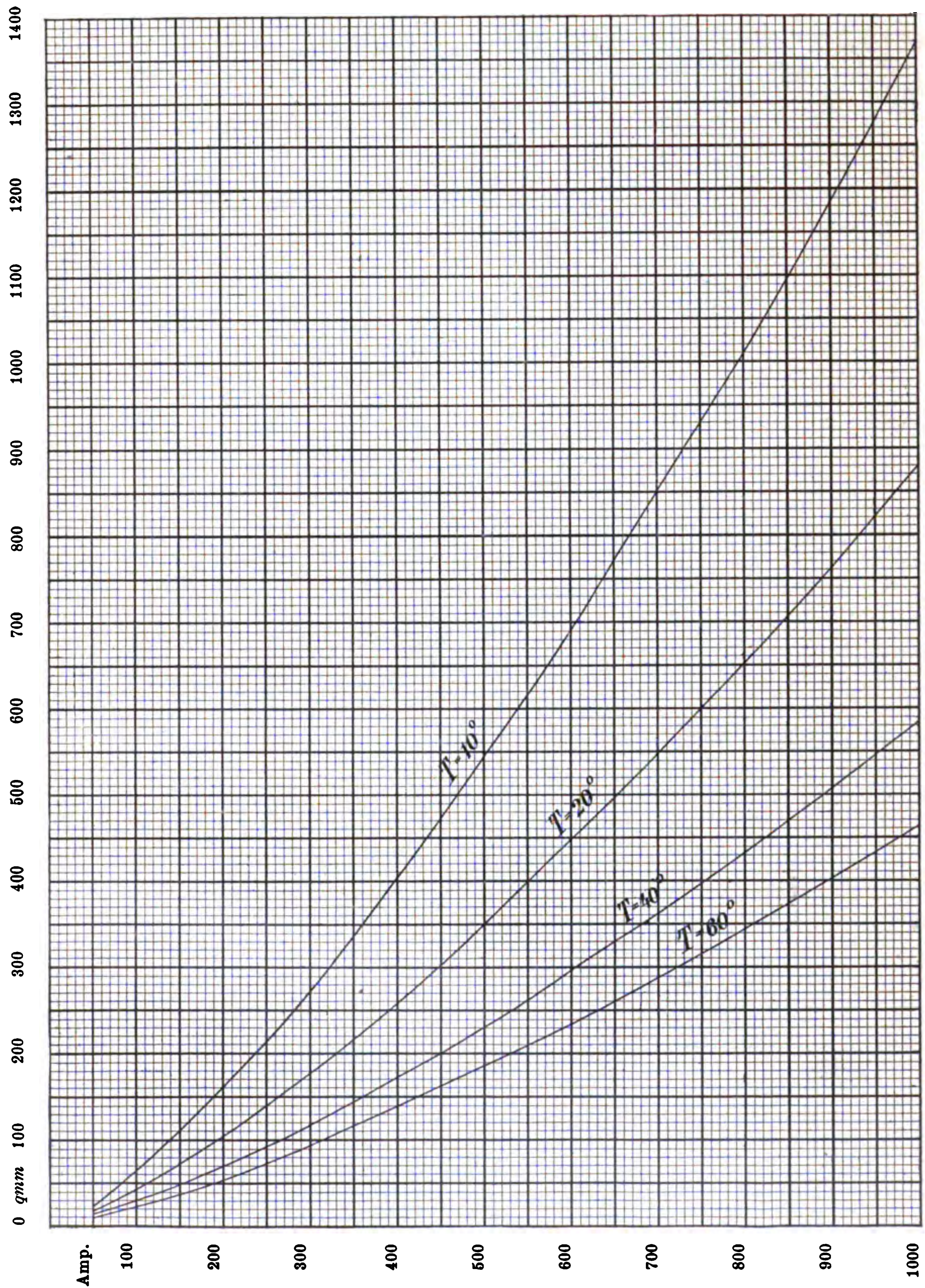
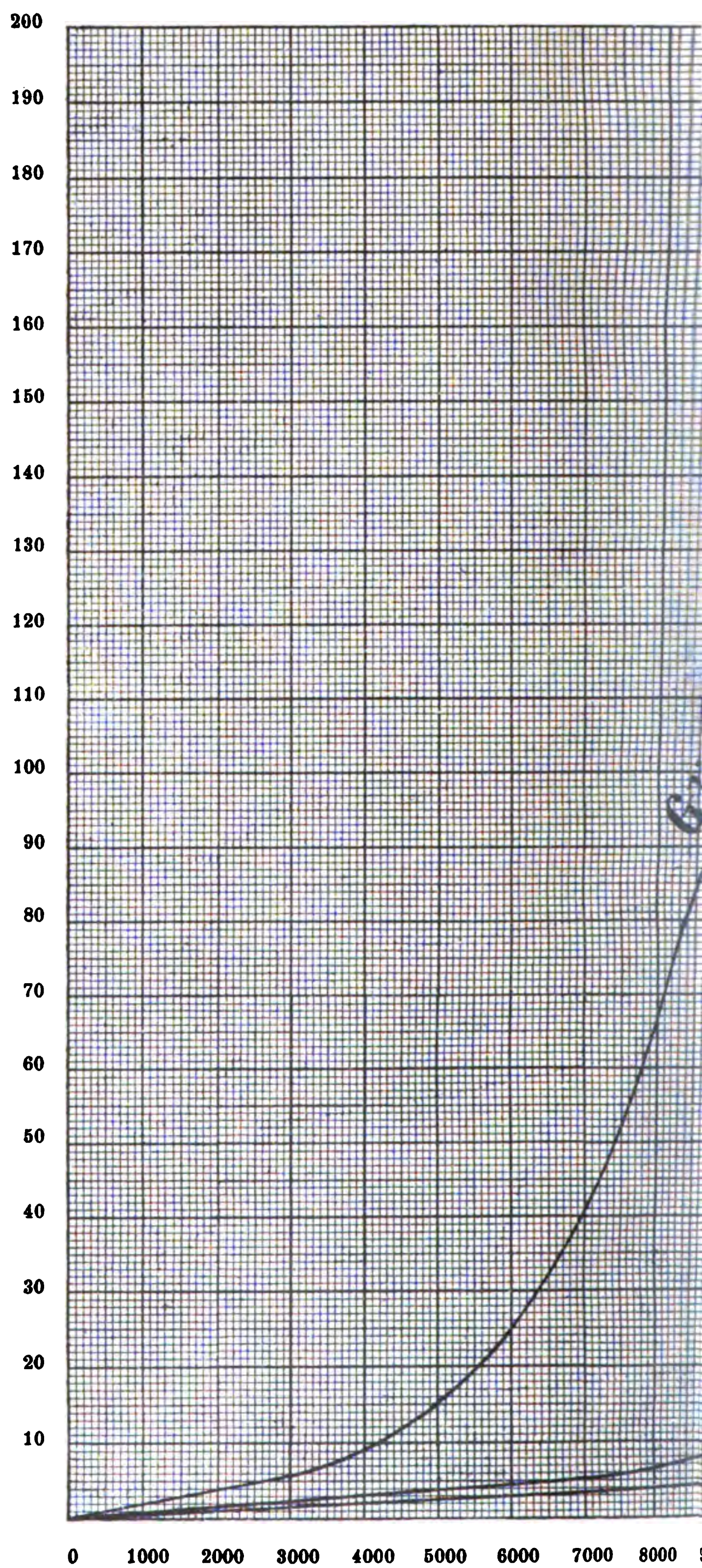
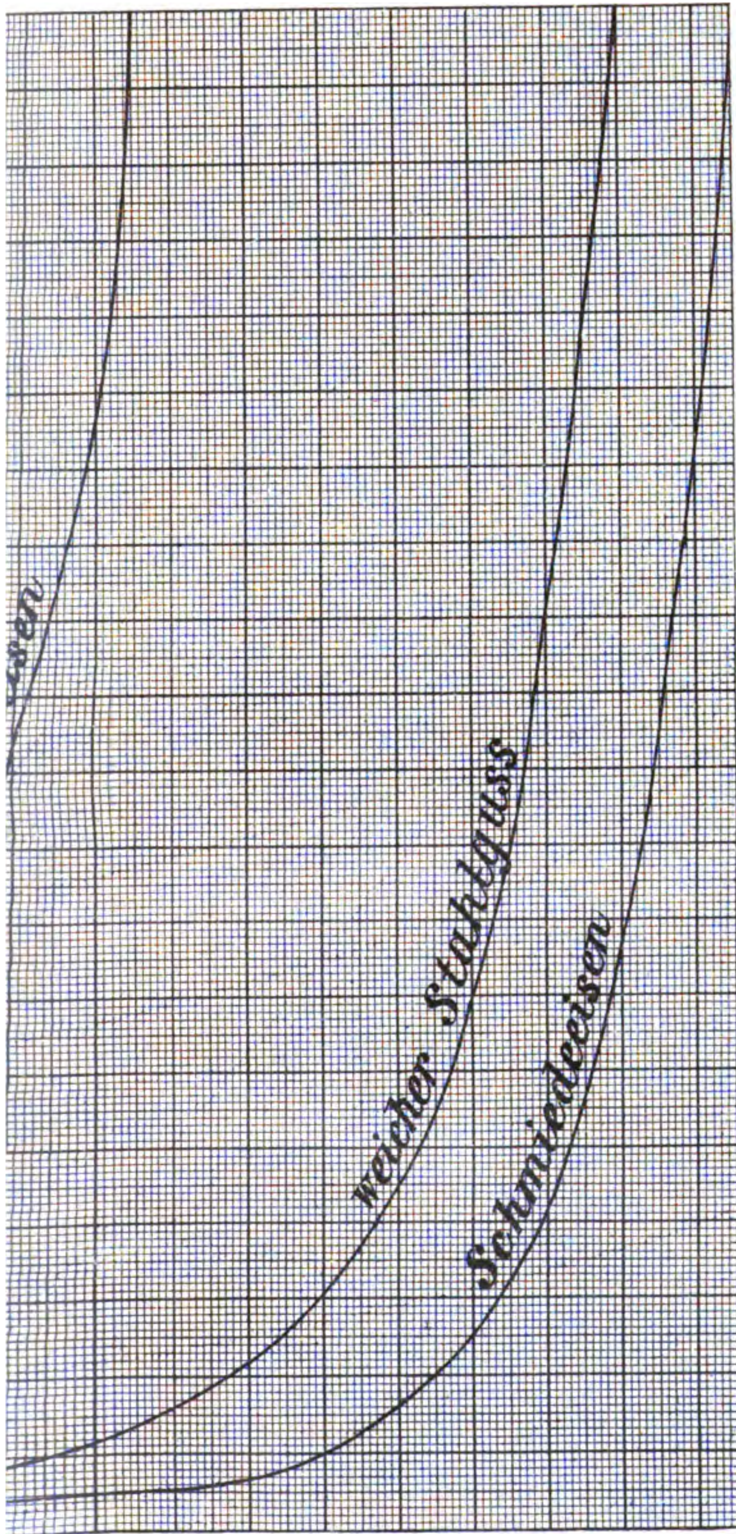


Fig. 2.

ier, Leipzig.



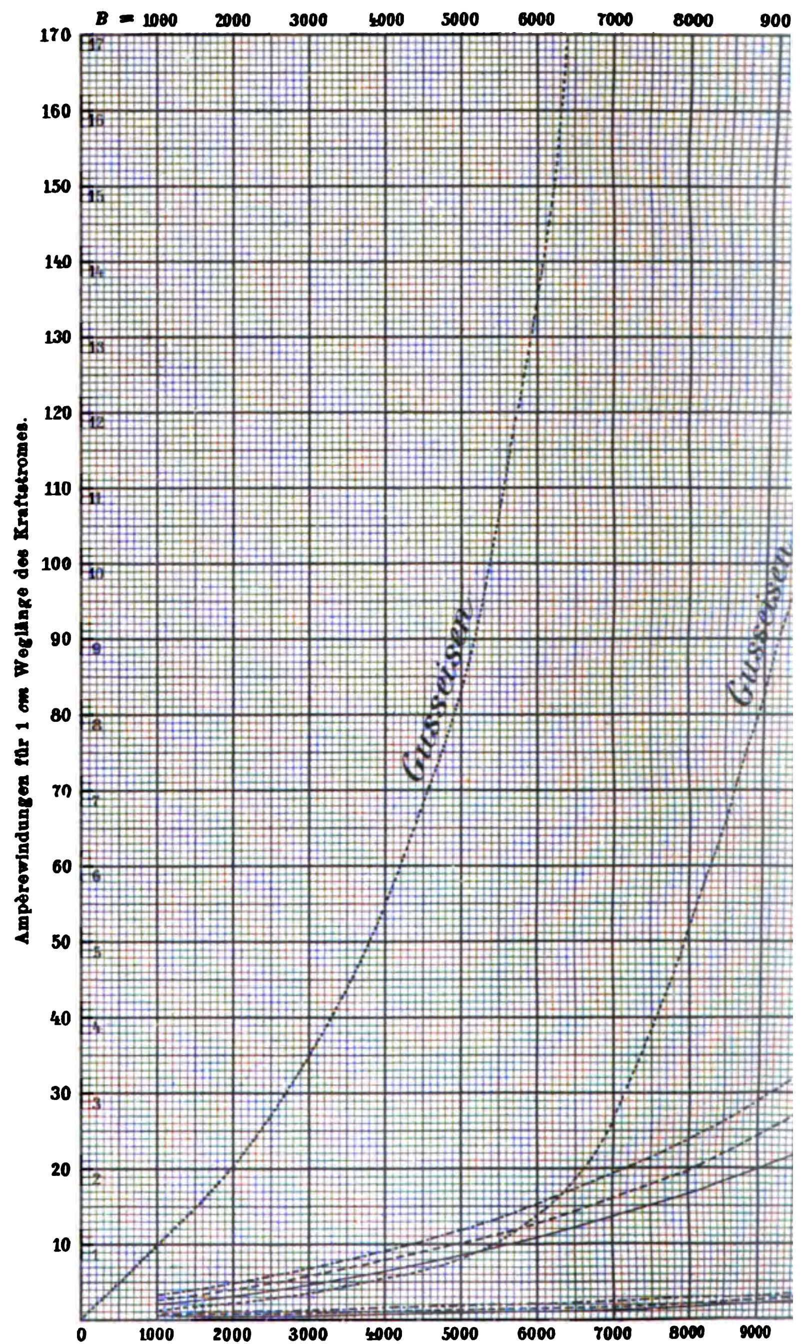
Verlag von Oskar Le



00 10000 11000 12000 13000 14000 15000 16000 17000 18000

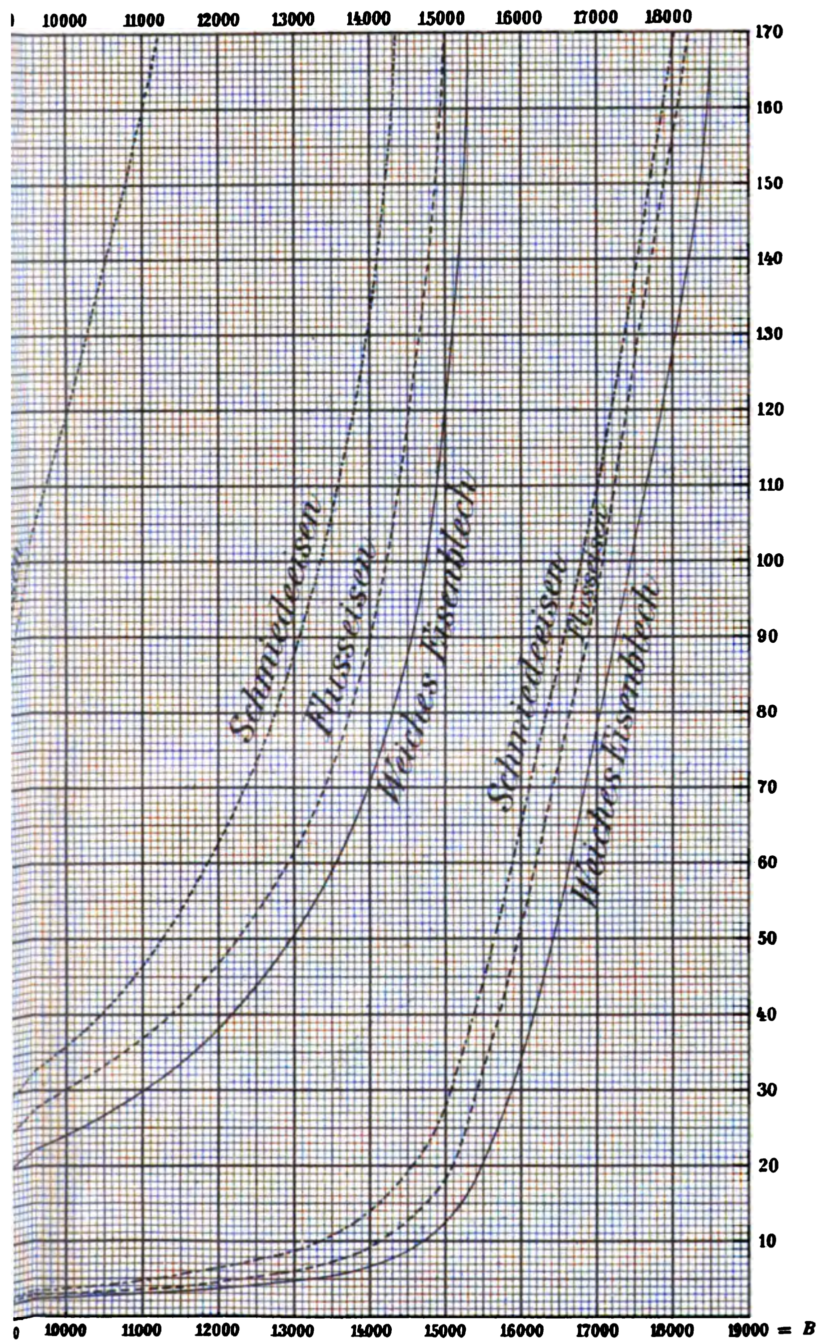
z Fläche. Grösse B.

r, Leipzig.



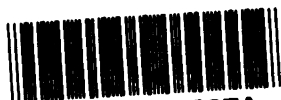
Abhängigkeit der magnetischen Induktion von der m

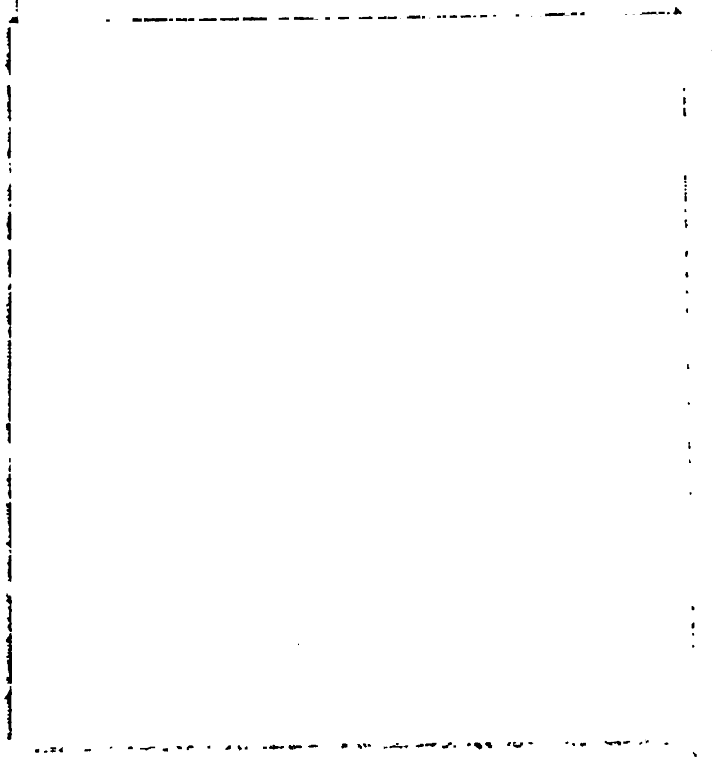
Verlag von Oskar



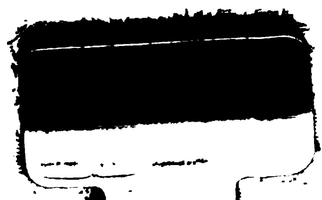
magnetomotorischen Kraft für verschiedene Eisensorten.

kar Leiner in Leipzig.


89089712327
B89089712327A

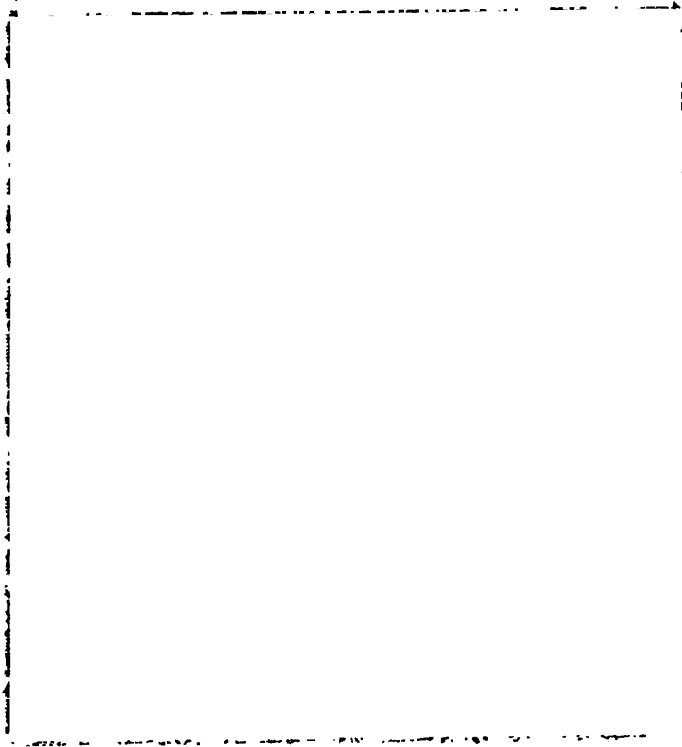


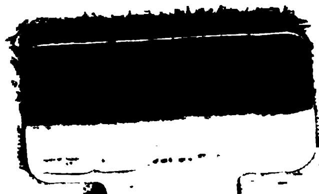







89089712327
B89089712327A





Verlag von Oskar Leiner in Leipzig, Königss



Grundzüge
der
ELEKTROTECHNIK.

Von

Prof. Dr. **Richard Rühlmann.**

Eine gemeinfassliche Darstellung der Grundlagen der Starkstrom-Elektrotechnik für Ingenieure, Architekten, Industrielle, ~~Militärs,~~ Techniker und Studierende an technischen Mittelschulen.

gr. 8⁰. 416 Seiten. Mit 226 Abbildungen.

Brosch. ℳ 12.—, gebd. ℳ 13.—.

Inhalt: I. Teil. ***Die elektrotechnisch wichtigen Erscheinungen und deren Messung:*** *Grundbegriffe und Grundgesetze der Elektrizität. Die Wärmewirkungen des elektrischen Stromes. Chemische Wirkungen des elektrischen Stromes. Magnetische Erscheinungen. Elektromagnetische Erscheinungen. Elektrodynamische Wirkungen der Ströme. Induktions-Erscheinungen. Messung der elektrischen Arbeit und Leistung. Elektrizitätszähler. Widerstandsmessungen. Messung der Lichtstärke. Messung der Stärke von Magnetfeldern. Messung der Induktionskoëffizienten. Messung der mechanischen Leistung.*

II. Teil. ***Die Elektrizitätsquellen:*** *Galvanische Elemente. Schaltungen an dynamoelektrischen Maschinen. Theorie der Gleichstrommaschinen. Berechnung von Gleichstrommaschinen, die als Stromerzeuger dienen. Gleichstrommaschinen als Motoren. Einzelheiten des Baues von Dynamomaschinen Gleichstrommaschinen mit offenem Anker. Akkumulatoren.*

Grundzüge
der
WECHSELSTROM-TECHNIK

Eine gemeinfassliche Darstellung der Grundlagen der

Elektrotechnik der Wechsel- und Mehrphasenströme

für Ingenieure, Architekten, Industrielle, Militärs, Techniker und Studierende an technischen Mittelschulen.

Von Prof. Dr. **Richard Rühlmann.**

Zugleich Ergänzungsband zu:

Grundzüge der Elektrotechnik der Starkströme.

gr. 8⁰. 359 Seiten. Mit 261 Abbildungen.

Brosch. ℳ 11.50; gebd. ℳ 13.—.

Inhalt: Allgemeine Bemerkungen über den Wechselstrom. Wechselstromkreise mit Widerstand, Selbstinduktion und Kapazität. Besondere Wirkungen der Wechselströme. Allgemeines über Wechselstrom-Maschinen. Die Einrichtung einiger gebräuchlicher Wechselstrom-Maschinen. Wechselstrom-Maschinen für Mehrphasenströme. Transformatoren. Wechselstrom-Motoren mit Zweiphasen-Motoren. Die Drehstrom-Motoren. Messungen an Wechselströmen und Wechselstromapparaten. Regelung und Verteilung der Wechselströme

LEIPZIG, OSKAR LEINER. 4703